

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

LES EFFETS PROPRIOCEPTIFS DE LA VIBRATION ARTIFICIELLE DU
TENDON D'ACHILLE SUR LE MOUVEMENT DE LA CHEVILLE CHEZ DES
PRÉ-ADOLESCENTES GYMNASTES COMPARATIVEMENT À DES PRÉ-
ADOLESCENTES NON GYMNASTES

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN KINANTHROPOLOGIE

PAR
MIKE JORDAN

FÉVRIER 2009

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier madame Geneviève Cadoret, Ph.D., professeure à l'UQAM, à titre de directrice du projet. Sa généreuse implication et son professionnalisme ont permis de mener à bien ce mémoire.

Monsieur Robin Drolet, madame Carole Roy et monsieur Benoît Sansregret, techniciens à l'UQAM, pour leur support technique au Département de Kinanthropologie.

Dr.J.Fung, *McGill University*, pour nous avoir prêté le matériel de vibration.

Aux enfants qui ont eu la gentillesse de participer à l'étude, ainsi qu'à leurs parents pour leur soutien.

Au club de gymnastique artistique et acrobatique pour leurs accommodements.

À la Fédération de Gymnastique du Québec.

Et toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué au succès de ce mémoire.

TABLE DES MATIÈRES

LISTES DES FIGURES.....	vi
LISTES DES GRAPHIQUES.....	vii
RÉSUMÉ.....	ix
CHAPITRE I	
INTRODUCTION.....	1
1.1 Objectifs.....	1
1.2 Hypothèse de recherche.....	1
1.3 Importance.....	1
1.4 Limites.....	2
Attentes du chercheur.....	2
Attentes des sujets.....	2
Maturation des sujets.....	2
CHAPITRE II	
REVUE DE LITTÉRATURE.....	3
2.1 La rétroaction en apprentissage moteur.....	3
2.2 Le rôle de la rétroaction interne.....	4
2.3 La proprioception.....	6
Voies proprioceptives.....	7
Rôles des fuseaux neuromusculaires.....	9
Effet de la vibration.....	9
Analyse par microneurographie.....	11
En locomotion humaine.....	12
2.4 Rôle de la proprioception.....	12
2.5 Développement de la proprioception chez l'enfant.....	15
L'effet de la pratique.....	15
Sensibilité et variabilité proprioceptive.....	16
À l'adolescence.....	17

Stratégie d'action en fonction de l'âge.....	18
Au niveau des sexes.....	19
CHAPITRE III	
PROBLÉMATIQUE.....	20
3.1 Question de recherche.....	20
3.2 Justification.....	21
Apprentissage moteur.....	21
Rôle de l'éducateur.....	22
CHAPITRE IV	
MÉTHODOLOGIE.....	23
4.1 Appareillage.....	23
4.2 Sujet.....	24
Recrutement.....	24
Critères d'inclusion.....	24
Critères d'exclusion.....	25
4.3 Protocole.....	25
Tâche statique.....	25
Tâche dynamique.....	28
4.4 Schéma de l'expérimentation.....	28
Effet de la vibration (exemple à 60%).....	29
4.5 Analyse.....	30
CHAPITRE V	
PRÉSENTATION DES RÉSULTATS.....	33
5.1 Tâche statique.....	33
5.1.1 Précision dans l'excursion angulaire.....	33
5.1.2 Précision dans la position finale.....	37
5.2 Tâche dynamique.....	40
Groupe contrôle.....	40
Groupe 2 années d'expertise.....	40
Groupe 4 années d'expertise.....	41

CHAPITRE VI	
ANALYSE ET DISCUSSION.....	43
Précision des sujets.....	43
Effet de la vibration chez l'enfant en tâche statique.....	44
Effet de la vibration en situation dynamique.....	46
CHAPITRE VII	
CONCLUSION.....	48
Expertise gymnique.....	49
L'utilisation de la gymnastique en milieu scolaire.....	49
BIBLIOGRAPHIE.....	50
ANNEXES.....	53

LISTE DES FIGURES

Figure		Page
1	Modèle de rétroaction (feedback) en boucle fermée (traduit de Schmidt & Lee, 1999. Figure 5.1).....	5
2	Modèle en vecteur de correction de l'action (traduit de Cisek et al., 1998. Figure 1).....	6
3	Les voies proprioceptives (tiré de Rigal, 1995).....	9
4	Amplitudes visées.....	27
5	Appareillage.....	28
6	Schéma expérimental.....	29
7	Effet de la vibration sur le mouvement.....	29

LISTE DES GRAPHIQUES

Graphique	Page
1 Précision dans l'excursion angulaire sans vibration (effet de l'expérience).....	33
2 Précision dans l'excursion angulaire, sans vibration, selon les différents angles (effet de l'expérience).....	34
3 Précision dans l'excursion angulaire des sujets en fonction de l'expérience gymnique avec (ÉcartAvec) et sans vibration (Écart) à un angle de -50%.....	35
4 Précision des sujets en fonction de l'expérience gymnique avec et sans vibration à un angle de 30%.....	35
5 Précision des sujets en fonction de l'expérience gymnique avec et sans vibration à un angle de 60%.....	36
6 Précision des sujets en fonction de l'expérience gymnique au niveau de la position finale sans vibration.....	37
7 Précision des sujets en fonction de l'expérience gymnique avec et sans vibration à un angle de -50%.....	38

8	Précision des sujets en fonction de l'expérience gymnique avec et sans vibration à un angle de 30%.....	38
9	Précision des sujets en fonction de l'expérience gymnique avec et sans vibration à un angle de 60%.....	39
10	Déplacement angulaire de la cheville en situation de marche avec et sans vibration pour le groupe contrôle (C).....	40
11	Déplacement angulaire de la cheville en situation de marche avec et sans vibration pour le groupe 2 années d'expérience (A2).....	40
12	Déplacement angulaire de la cheville en situation de marche avec et sans vibration pour le groupe 4 années d'expérience (A4).....	41

RÉSUMÉ

Dans le cadre de cette recherche, nous avons étudié l'impact de la pratique de la gymnastique artistique et acrobatique sur le sens proprioceptif chez des sujets pré-adolescents gymnastes (pratiquant régulièrement la gymnastique) comparativement à des sujets non-gymnastes (ne pratiquant pas régulièrement cette activité). Une méthode de vibration du tendon d'Achille a été utilisée pour perturber l'information proprioceptive au cours du mouvement. L'impact de la perturbation proprioceptive a été évalué en fonction de l'expertise des sujets en gymnastique. Les sujets devaient réaliser deux tâches: une tâche statique de reproduction de mouvement de flexion dorsale et plantaire de la cheville ainsi qu'une tâche dynamique de marche, dans des conditions perturbées et non-perturbées. La précision du positionnement de la cheville dans l'espace et l'excursion angulaire au cours de la flexion dorsale et de la flexion plantaire étaient les mesures enregistrées. Les résultats en tâche statique ont démontré une tendance à l'erreur plus marquée chez les sujets gymnastes dans le positionnement final de la cheville dans l'espace. Les sujets gymnastes semblaient aussi davantage affectés par la vibration lors de la flexion dorsale de la cheville. Dans la tâche dynamique, les effets enregistrés étaient minimes. Cette étude démontre que la pratique de la gymnastique modifie l'utilisation du signal proprioceptif pour les mouvements de la cheville chez des pré-adolescents. Cet effet de la pratique semble se manifester davantage pour les mouvements de précision comme le positionnement dans l'espace.

MOTS-CLÉS : Proprioception, vibration, gymnaste, cheville, éducation physique

CHAPITRE I

INTRODUCTION

1.1 Objectifs

Dans cette recherche, nous avons tenté de répondre à plusieurs questions. Est-ce que les gymnastes de 13-14 ans, avec de l'expertise dans la correction des actions, utilisent davantage l'information proprioceptive dans le contrôle de leurs mouvements que des sujets ne pratiquant pas la gymnastique? Si une vibration artificielle est appliquée, les gymnastes ont-elles une réaction différente de celle de sujets contrôles? S'il y a une différence, est-elle dépendante de l'angle et de la direction du mouvement produit (flexion plantaire ou dorsale)?

1.2 Hypothèse de recherche

Mon hypothèse de recherche est que les sujets gymnastes utilisent davantage l'information proprioceptive pour exécuter un mouvement précis de la cheville que des sujets non-gymnastes. Par conséquent, ils seront plus perturbés par la vibration artificielle du tendon d'achille et commettront plus d'erreur que les sujets contrôles au niveau du positionnement spatial et/ou de l'excursion angulaire de la cheville.

1.3 Importance

L'importance de cette étude est d'abord et avant tout de fournir aux éducateurs physiques et à la santé un moyen d'action efficace dans une approche par compétences. En second lieu, il s'agit d'inciter les éducateurs à utiliser ce moyen

d'action afin d'aider l'élève à développer une meilleure perception de son corps dans l'action.

1.4 Limites

Attentes du chercheur

La gymnastique est un milieu que le chercheur connaît bien et qu'il côtoie toujours, son intérêt pour le sujet et la pression du milieu à vouloir valoriser cette activité pourrait influencer l'analyse des résultats. Surtout au niveau de l'interprétation qui pourrait être trop hâtive ou biaisée. La solution utilisée fut d'attendre la fin de la prise des données avant de commencer l'analyse et de prendre les résultats tels qu'ils sont en les présentant à d'autres chercheurs qui sont et qui ne sont pas dans le domaine de la gymnastique acrobatique.

Attentes des sujets

Du fait que plusieurs sujets pourraient connaître le chercheur aurait peut-être pu avoir un impact sur les résultats. Toutefois, cette limite a été éliminée par des conditions expérimentales bien précises, comme par exemple, divulguer aux sujets uniquement la tâche à réaliser et non ce qui est enregistré.

Maturation des sujets

Étant donné l'hétérogénéité du milieu de la gymnastique et l'âge des gymnastes, la maturation des sujets pourrait avoir des répercussions sur les résultats. En effet, certains auteurs ont démontré que la sensibilité proprioceptive fluctue beaucoup avant l'âge de 12 ans. C'est donc pour cette raison que les sujets sélectionnés seront tous âgés de 13-14 ans (Sigmundsson, Whiting & Loftesnes, 2000). De plus, il faut prendre en considération la puberté des sujets qui pourrait aussi influencer les résultats.

CHAPITRE II

REVUE DE LITTÉRATURE

2.1 La rétroaction en apprentissage moteur

L'évolution des habiletés motrices de l'apprenant dans une nouvelle tâche motrice est assujettie à plusieurs facteurs tant intrinsèques qu'extrinsèques. Principalement, l'élève en apprentissage a besoin de deux éléments afin de permettre tout changement. Le premier fait référence à la motivation de ce dernier en regard de la tâche à apprendre et de sa vision de cette dernière. La seconde, qui nous intéresse davantage dans le cadre de l'étude implique les connaissances et les habiletés de l'apprenant à exécuter une nouvelle tâche motrice (Fredenburg, Lee & Solmon, 2001). La première expérience de l'apprenant avec une nouvelle tâche est donc une découverte pour lui ne possédant dès lors aucun référentiel de la tâche à exécuter. C'est à ce moment que la rétroaction vient occuper une place de premier choix dans le processus d'apprentissage de l'apprenant. Effectivement, elle informe l'apprenant sur sa performance et le résultat de son action. À cet effet, plusieurs auteurs ont conclu, à l'aide de leurs recherches, que la pratique et la rétroaction sont les piliers principaux influençant la performance motrice et l'apprentissage moteur (Bilodeau & Bilodeau, 1961; Magill, 1998; Schmidt & Lee, 1999). La correction étant donc indispensable dans l'exécution de nos actions motrices, afin de tendre à un mouvement le plus efficace possible (atteindre le but le plus vite possible, avec le moins d'énergie possible), il est important de se pencher sur les mécanismes entourant le traitement et le développement de la rétroaction dans l'apprentissage de nos actions motrices. Il existe deux types de rétroaction; la rétroaction intrinsèque et la rétroaction extrinsèque qui sont issues de diverses sources comme les informations

visuelles, auditives, proprioceptives, tactiles, la connaissance du résultat et de la performance.

2.2 Le rôle de la rétroaction interne

Il ne fait aucun doute aujourd'hui que la rétroaction extrinsèque joue un rôle important dans la planification et l'exécution du mouvement en apprentissage moteur et en performance motrice (Fredenburg et al. 2001; Silverman, Woods et Subramaniam, 1998; Weeks & Kordus, 1998; Magill, 1998; Schmidt & Lee, 1999). Toutefois, malgré l'intérêt marqué en recherche pour cet aspect de l'apprentissage moteur, il est important de ne pas négliger l'autre côté de la rétroaction; la rétroaction intrinsèque. En partant du principe qu'une rétroaction est une information que reçoit un individu sur la performance ou le résultat d'une action motrice pendant et après l'exécution (Magill, 1998), nous pouvons aisément faire le lien avec l'aspect intrinsèque qui se réfère aux informations que le corps transmet au système nerveux sur nos actions. Ces informations traitées et comparées à l'aide d'un référentiel permettent une correction des actions motrices afin d'atteindre le but fixé. Ce principe peut être comparé au système en boucle fermée de Schmidt (voir Schmidt & Lee, 1999) qui définit la rétroaction interne comme pilier de base à la correction de l'acte moteur (Figure 1). Nous remarquons qu'effectivement, dans ce modèle, l'action (*muscles, mouvement et environnement*) est directement corrigée ou non sur la base d'une rétroaction comparée à une référence (*référence*). Dans le cas d'une similitude entre la référence et la rétroaction, il n'y a pas de correction. Toutefois, dans le cas d'une discordance une nouvelle action corrigée ou correctrice est déclenchée afin d'atteindre le but fixé.

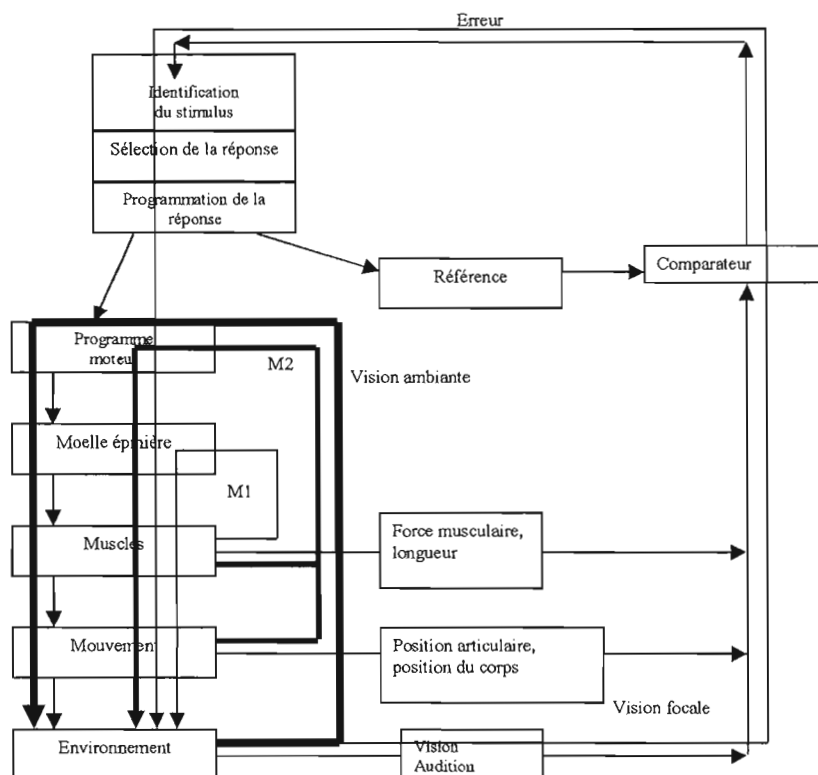


Figure 1 **Modèle de rétroaction (feedback) en boucle fermée (traduit de Schmidt & Lee, 1999. Figure 5.1)**

Cisek et al. (1998) ont aussi développé un modèle de correction de l'action plus élaboré. Ce schéma est construit sous forme de vecteurs en relation les uns avec les autres et représente les mécanismes sensitifs permettant la prise en considération des contraintes de la tâche avant, pendant et après le mouvement. Ce modèle expliquerait comment l'organisme réussit à analyser plusieurs facteurs de la tâche en même temps comme l'illustre la figure ci-dessous (Figure 2). L'information sensorielle influence directement les vecteurs de force interne et statique qui à leur tour influencent les vecteurs de position et de position/force combinés. Ces derniers sont aussi définis par d'autres facteurs comme la position perçue et la position désirée.

mouvement, ou kinesthésie, a longtemps été défini comme un tout. Partie intégrante de la sensibilité somatique (reliée au corps) la proprioception fait partie de la grande famille du sens kinesthésique. En effet, la proprioception informe le système de la position statique et dynamique des différentes parties du corps à l'arrêt et en mouvement, de façon consciente ou inconsciente. C'est à l'aide des récepteurs musculaires (les fuseaux neuromusculaires), les organes tendineux de Golgi et les récepteurs articulaires que l'organisme sera en mesure de se positionner dans l'espace sans l'aide de la vision (Schmidt & Lee, 1999; Kandel, Schwartz & Jessell, 2000). La proprioception comprend, entre autres, le sens vestibulaire qui permet d'être conscient et de maintenir l'équilibre du corps dans l'espace à l'aide des canaux semi-circulaires (Berthoz, 2001). Le sens du mouvement implique également les récepteurs articulaires et des récepteurs tendineux donnant au corps les informations relatives à l'effort, à la tension, à la fatigue et au positionnement relatif des segments (Proske, 2005). Le sens du mouvement implique également les récepteurs musculaires qui informent l'organisme sur l'étirement musculaire (Proske, 2005; Ribot-Ciscar, Rossi-Durant & Roll, 1998; Albert, Bergenheim & Ribot-Ciscar, 2006). La proprioception permet alors de connaître en tout temps la position de notre corps et de ses diverses parties, à l'action et à l'arrêt, dans l'espace.

Les voies proprioceptives

Comme l'illustre la figure 3, les afférences proprioceptives ont leur propre système de transmission de l'information sensorielle qui est le système des colonnes dorsales et l'lemniscal médian (Rigal, 1995; Kandel & al, 2000). Les signaux émis par les fibres musculaires, et les autres types de récepteurs proprioceptifs, gagnent dans un premier temps la corne dorsale de la moelle épinière. Les cellules ganglionnaires des racines dorsales établissent ensuite des connections avec les neurones des noyaux Gracile et Cunéiforme au niveau du bulbe. Les signaux sont acheminés au thalamus ventro-latéral postérieur et, par la suite, vers les aires corticales somesthésiques SI et

SII du lobe pariétal. Certaines informations primaires des fibres neuromusculaires seront dirigées vers les aires motrices du lobe frontal afin de contribuer au contrôle du mouvement. Le cervelet reçoit aussi des afférences d'origine proprioceptive.

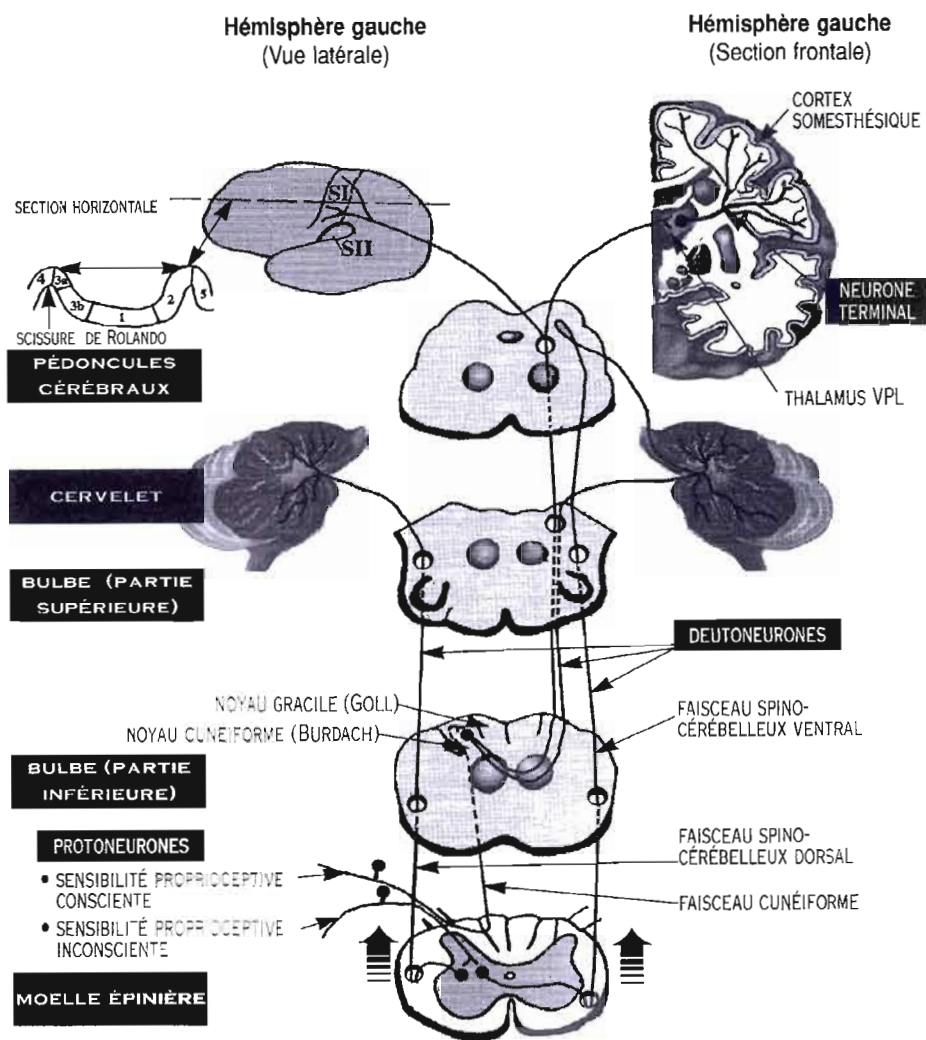


Figure 3 Les voies proprioceptives, tiré de Rigal, 1995

Les récepteurs proprioceptifs qui nous intéressent plus particulièrement dans le cadre de cette étude sont les fuseaux neuromusculaires. Situés directement dans le muscle ils jouent un rôle de premier ordre dans le traitement de l'information proprioceptive.

Rôles des fuseaux neuromusculaires

Ce furent les chercheurs Edgar Adrian et Yngve Zotterman qui enregistrèrent pour la première fois une activité électrique dans les fuseaux musculaires (Kandel et al., 2000). Décrits par la suite par Goodwin et al. en 1972, lors d'une étude sur le sujet (voir aussi Roll & Vedel, 1982), les fuseaux musculaires ont rapidement été associés à la proprioception. Partie intégrante des fibres musculaires intrafusales, les fuseaux informent le système nerveux central de l'étirement des muscles lors de l'action motrice (Inglis, Frank & Inglis, 1989). Les fuseaux musculaires sont particuliers puisque, contrairement aux autres récepteurs proprioceptifs, ils s'activent à plus grande intensité avec leur étirement (Proske, 2005). En effet, si l'on compare ce type de fibres aux récepteurs cutanés, on constate que ces derniers sont activés lorsqu'ils sont stressés (pression, pli, etc.), alors que l'état d'activation des fuseaux est atteint lors d'un relâchement de ces derniers (lorsqu'ils sont étirés). L'information provenant des fuseaux musculaires est acheminée via les fibres Ia, myélinisées et à transmission rapide, et jouent un rôle de premier plan dans la correction immédiate du mouvement. Les techniques utilisées aujourd'hui afin d'analyser l'activité des fuseaux musculaires sont peu nombreuses. La microneurographie, technique qui permet d'enregistrer directement l'activité unitaire des fibres sensorielles à l'aide d'électrodes implantées dans la fibre (Roll & Vedel, 1982) et la vibration (Goodwin et al., 1972), sont parmi les méthodes d'analyses utilisées afin de comprendre la contribution des fuseaux dans la proprioception et dans le contrôle du mouvement.

Effet de la vibration

Une des manières utilisées pour analyser le traitement de l'information proprioceptive est la perturbation des fuseaux musculaires par vibration du tendon. Cette vibration amène une excitation des fuseaux musculaires et produit donc une impression d'extension du muscle auquel le tendon est rattaché, ce qui se traduit donc

par une contraction réflexe du muscle en question et un relâchement du muscle antagoniste. C'est, en effet, le résultat obtenu par la recherche de Goodwin et al. (1972), lors de la vibration du tendon du biceps et du triceps pendant une tâche de reproduction de mouvement d'un bras test sous vibration par rapport à un bras témoin. Les enregistrements de mesure d'angle ont démontré une différence de 40° entre les deux bras causée par l'illusion de mouvement par vibration. Capaday et Cooke (1981) sont arrivés aux mêmes résultats dans une étude sur la vibration des muscles antagonistes. Les sujets devaient produire un mouvement d'extension et de flexion horizontale de l'avant bras dans un intervalle donné, à l'aide d'un bras de levier. Les sujets exerçaient plusieurs mouvements et la vibration était appliquée au muscle antagoniste lors d'une partie du bloc des mouvements. Les résultats ont démontré une sous estimation d'approximativement 30% de la position du membre dans l'espace et ce même si la vibration était appliquée de façon sporadique sur certains mouvements du bloc plutôt qu'en continu. Dans l'étude de Albert et al. (Albert, Ribot-Ciscar, Fiocchi, Bergenheim et Roll, 2005), la vibration a été utilisée afin de définir le rôle des fuseaux musculaires, plus précisément des fibres Ia, dans la reconnaissance proprioceptive de la trajectoire des mouvements. Six vibrateurs ont donc été installés sur les chevilles de dix sujets adultes sur des tendons définis afin de créer une illusion d'écriture. Les tendons des muscles visés et les schèmes vibratoires (organisation séquentielle des vibrations appliquées) ayant été identifiés par microneurographie dans une expérience antérieure (Albert et al., 2005). Suite à l'application de la vibration, on demandait aux sujets de recopier sur une plate-forme digitale la lettre ressentie et de la nommer. Les résultats ont démontré que les sujets étaient en mesure de reproduire et d'identifier 83 % des symboles à une fréquence de 30 Hz. Une augmentation de la fréquence (jusqu'à 80Hz) diminuait les erreurs d'identification. Ces derniers résultats démontrent donc que la vibration en reproduisant les effets proprioceptifs du mouvement peut créer des illusions de mouvements complexes (Albert et al., 2006; Inglis et al. 1989).

Analyse par microneurographie

Dans le même ordre d'idées, les recherches de Roll sur la vibration et l'analyse par microneurographie ont permis de parfaire les connaissances sur les effets de la vibration (Roll & Vedel, 1982; Ribot-Ciscar, Rossi-Durant & Roll, 1998). La vibration et la microneurographie ont été utilisées de pair afin de définir le rôle des fibres des fuseaux neuromusculaires dans le traitement de l'information proprioceptive. Une vibration appliquée sur les tendons des muscles du biceps et du triceps simultanément et alternativement entraîne une déviation dans les mesures de flexion et d'extension. Cette variation, augmente progressivement jusqu'à 80Hz et décroît par la suite jusqu'à 120 Hz. Fait intéressant, lorsque la déviation est maximale (à 80Hz), elle est trois fois plus élevée lorsque les deux tendons sont vibrés en même temps que lorsqu'ils sont vibrés un après l'autre. En parallèle, l'activité de 15 fibres Ia et 5 fibres IIa du tiabialis anterior a été enregistrée par microneurographie. Les résultats démontrent que les fibres Ia seraient davantage activées en basse amplitude (0,2-0,5mm) et de façon constante pendant la vibration. Ce qui les associerait davantage à la vélocité du mouvement. D'un autre côté les fibres IIa seraient activées de façon progressive et joueraient un rôle au niveau de la vélocité et de l'angle du déplacement articulaire (Roll & Vedel, 1982). Ces résultats viendraient donc corroborer les études antérieures sur la contribution des fuseaux musculaires et plus particulièrement des fibres Ia dans le traitement de l'information proprioceptive. Une autre étude par analyse microneurographique a démontré que la sensibilité et la période de repos nécessaire des fuseaux musculaires pendant et suite à l'action étaient les mêmes lors du mouvement réel que lors d'une illusion du même mouvement par vibration (Ribot-Ciscar et al., 1998.)

En locomotion humaine

La vibration a aussi été utilisée dans d'autres études afin de définir le rôle de l'information proprioceptive, via les fuseaux musculaires, dans la locomotion humaine (Verschuere, Swinnen, Desloovere, Duysens, 2002). Neuf sujets entre 20 et 29 ans ont été testés dans une condition de vibration à 50 Hz appliquée sur les tendons de plusieurs muscles des membres inférieurs. Les sujets devaient marcher, les yeux bandés, sur une distance de 8 mètres alors que six muscles différents étaient vibrés dans des conditions indépendantes. Une vibration du *tibialis anterior* a entraîné une diminution de la flexion plantaire de la cheville au moment où le pied quitte le sol et une diminution de la flexion dorsale lors de l'oscillation en phase de marche. Des effets similaires dans les variations angulaires ont été observés au niveau du genou lors de la vibration du *triceps sural*. D'après les auteurs de l'étude la vibration influence l'information proprioceptive lors de la locomotion puisqu'elle donne l'illusion que le muscle est plus étiré qu'il ne l'est vraiment.

2.4 Rôle de la proprioception

Alors que vous lisez cette revue, vos jambes sont probablement sous votre bureau ou votre table et pourtant, sans les voir, vous êtes en mesure de dire exactement comment elles sont positionnées. C'est en grande partie la proprioception qui est responsable de ce phénomène de pouvoir situer ses membres dans l'espace ou les uns par rapport aux autres. Pour parler ainsi du rôle de la proprioception attardons nous à G.L. G.L. est un sujet qui est totalement dépourvu de tout sens proprioceptif. En effet, G.L. n'a aucun sens du toucher, de la vibration, de la pression, de la kinesthésie au dessous du nez. G.L. n'est donc pas en mesure de situer son corps dans l'espace ou les diverses parties de son corps les uns par rapport aux autres sans la vision pour guider ses actions. Dans une étude réalisée en collaboration avec G.L. (Nougier, Bard, Fleury, Teasdale, Cole, Forget, Paillard & Lamarre, 1996) trois

expériences ont été réalisées de front afin de définir le rôle de l'information proprioceptive dans la programmation, la calibration et la correction de l'action du poignet. Deux sujets déafférentés et plusieurs sujets témoins ont été testés dans trois conditions spécifiques. La première consistait en une pronation et supination de 60 degrés du poignet dans une situation continue (i.e., le point de départ étant le point d'arrivée du mouvement précédent). Dans la deuxième condition, l'angle de déplacement de la pronation et supination était aléatoire (i.e., avec toujours comme point de départ le point d'arrivée de l'essai précédent). Enfin, dans la troisième situation une amplitude de 20 degrés était demandée dans un mouvement de pronation et supination. Toutefois, un frein magnétique appliquait une force sur le mouvement, force identique à chaque essai, mais de façon aléatoire sur les essais. Les résultats ont tous démontré qu'en l'absence de vision et d'acuité proprioceptive (sujet G.L.) les mouvements étaient spatialement incorrects (expérience 1-3) et ce à plus de 30 degrés (expérience 1), mais que l'erreur d'amplitude du mouvement était similaire au sujet contrôle (expérience 1-2-3). Les résultats de cette étude laissent supposer que le sens proprioceptif jouerait davantage un rôle au niveau de la calibration spatiale des membres afin d'atteindre une position finale.

Une autre observation concernant la proprioception provient de l'étude de Farrer, Franck, Paillard, Jeannerod (2003). En effet, les résultats de cette étude démontrent, dans une tâche de reproduction de forme (avec modèle visuel) et de déplacement angulaire de l'action produite, que la proprioception joue un rôle de premier ordre dans le positionnement final d'un membre. Les auteurs ont comparé des sujets sains avec la performance d'un sujet déafférenté (GL) et ont constaté que les sujets contrôles réussissaient à reproduire les formes modèles et ce malgré une variation angulaire entre 70° et 80° (sans voir le membre réalisant l'action). Toutefois, autre fait intéressant, le sujet déafférenté démontrait des aptitudes à reproduire les formes correctement jusqu'à une variation de 50°, mais pas au-delà, dans les mêmes conditions. Cette observation a amené les auteurs à formuler l'hypothèse que les signaux visuels internes joueraient un rôle dans le positionnement spatial des

membres, même lorsque le sujet ne voit pas directement le membre impliqué dans l'action.

Cette hypothèse nous amène à nous interroger sur le rôle des signaux visuels internes dans le positionnement spatial d'un membre. Jeannerod (1994) a proposé que l'action dirigée serait représentée intérieurement par l'organisme (référentiel cognitif), plutôt qu'uniquement sujette aux contraintes externes. En d'autres mots, il se produirait un référentiel cognitif du mouvement à exécuter faisant partie d'un processus à part entière. Toutefois, ce référentiel peut être assujéti à des contraintes biomécaniques et/ou distorsions externes qui ne sont pas nécessairement intégrées au référentiel et il ne peut donc pas être considéré comme le seul cadre directionnel de l'action.

La proprioception joue donc un rôle de premier plan dans la correction de l'action consciente où un processus de décision est en application. Dans le cas d'une action rapide, comme un mouvement de gymnastique, la gymnaste devrait donc être en mesure de définir si le mouvement était bien exécuté ou non. Toutefois, dans le cas de mouvement très rapide, le temps d'exécution totale ne laisse pas la possibilité au système de détecter l'erreur, de déterminer la correction, d'initier la correction et de corriger le mouvement (Schmidt & Lee, 1999). La correction doit donc s'effectuer par mémorisation proprioceptive de l'erreur et correction à l'essai suivant (*feedforward*). Comment alors favoriser, de façon optimale le développement du traitement de l'information proprioceptive et surtout à partir de quel âge pouvons-nous espérer avoir les meilleurs résultats? Certains auteurs se sont attardés à la question du développement de la proprioception chez l'enfant.

2.5 Développement de la proprioception chez l'enfant

L'effet de la pratique

Peu de chercheurs se sont penchés sur la question du développement de la proprioception chez l'enfant. Premièrement, il a été démontré que les fibres sensorielles sont matures vers l'âge de 18 mois et que le changement dans le traitement des stimuli s'effectue principalement au niveau de l'utilisation des informations disponibles (Rigal, 1995). Toutefois, le système proprioceptif va se développer davantage avec l'âge puisqu'il semble répondre à l'effet de la pratique. Des recherches ont été réalisées dans le domaine du traitement de l'information proprioceptive afin de définir l'impact de l'activité physique sur son raffinement. Dans le but de démontrer à quel point des sujets d'un groupe élite de gymnastique étaient affectés par une absence de la vision dans un mouvement, une tâche de déplacement d'un point B à un point A a été réalisée dans diverses conditions sans vision (Danion, Boyadjian & Marin, 2000). La première condition consistait à se déplacer en marchant du point B au point A sur une distance de 15 mètres, la deuxième condition en chaise roulante et la troisième en guidant verbalement une personne qui pousse la chaise roulante sur laquelle le sujet est assis. Les sujets gymnastes, comparés à un groupe témoin de sujets élités dans d'autres sports, ont démontré dans les deux premières conditions une déviation moindre entre le point d'arrivée réel (A) et le point d'arrivée attendu. Une autre étude sur le contrôle postural dans une tâche d'équilibre avec et sans vision en augmentant la difficulté de la tâche (en passant de deux pieds, à un pied, à un pied (surface instable) a conduit aux mêmes résultats (par analyse de la variation du centre de masse sur une plateforme de force). En effet, l'étude a démontré que les sujets gymnastes étaient plus aptes à compenser le manque de vision par l'utilisation d'autres modalités sensorielles, dont la proprioception, par une moindre variation du centre de masse lors de l'augmentation de la difficulté de la tâche (Vuillerme, Danion, Marin, Boyadjian, Prieur, Weis & Nougier, 2001). Ces résultats laissent donc supposer que

les gymnastes ont un système proprioceptif plus sensible et semblent plus aptes à utiliser l'information disponible que les individus pratiquant d'autres sports. Cette étude démontre aussi que l'acuité proprioceptive pourrait être modelée par la pratique.

Sensibilité et variabilité proprioceptive

De plus, les recherches dans le domaine semblent toutes converger vers le fait que le développement de la proprioception entre 5 et 12 ans est non monotonique. En effet, des variations observées entre 5 et 7 ans et entre 7 et 11 ans en proprioception démontrent que la sensibilité proprioceptive se développe avec beaucoup de variabilité (Sigmundsson, Whiting, Loftesnes, 2000; Hay, Bard, Ferrel, Olivier, Fleury, 2005; Hay & Redon, 1997). Toutefois, une stabilité au niveau de cette sensibilité serait atteinte vers l'âge de 12 ans (âge auquel les gestes deviennent plus fluides).

Il est important, à ce point, de prendre en considération que le rôle de la proprioception peut être analysé sous deux aspects. Il peut, dans un premier temps, être considéré d'un point de vue statique (on mesurera alors l'erreur spatiale, position du membre dans l'espace à un moment précis) et, en second lieu, considéré d'un point de vue dynamique (on mesurera alors l'amplitude du mouvement pour atteindre une cible, position du membre dans l'espace lorsque celui-ci est en mouvement (Nougier et al., 1996). Dans cet ordre d'idée, Hay et Redon (1997) ont montré que la variation du positionnement spatial (positionnement statique) ne semble pas être influencé en fonction de l'âge. Avec leur étude, les auteurs cherchaient à définir à quel âge les enfants développaient leur acuité proprioceptive pour contrôler un mouvement. Cinq groupes de sujets ont donc été testés (5, 7, 9, 11 et 35 ans) dans un mouvement de pointage de cible. Les cibles étaient atteintes à l'aide d'un pointeur tenu par la main, le tout sans vision et à des vibrations de 30 Hz et de 70 Hz sur le tendon du muscle du biceps. Les résultats ont démontré une variation de la trajectoire

du membre vibré à 70 Hz pour tous les sujets. Toutefois, une déviation maximale était enregistrée à 5 ans, diminuait entre 5 et 7 ans pour ensuite remonter à nouveau. Pour la vibration à 30 Hz, la seule différence a été enregistrée à la hausse pour les sujets de 5 ans au niveau de la position initiale par rapport à la cible à atteindre. Les sujets de 11 ans semblent posséder des gestes plus fluides et plus précis que les autres groupes d'âge (5, 7, 9 et 35 ans), et ce même à 70 Hz. Ce qui amène les auteurs à conclure que les sujets en bas âge seraient plus dépendants de l'information proprioceptive.

À l'adolescence

De plus, certains auteurs ont démontré un raffinement de la sensibilité proprioceptive à l'adolescence de 16 à 18 ans. L'étude de Goble et al. (2005) sur les différences entre les enfants et les adolescents dans les mouvements guidés par l'information proprioceptive, permet de confirmer certaines propositions qu'il y a un raffinement de l'utilisation de l'information proprioceptive avec l'âge. À l'aide d'une tâche de concordance entre le bras droit et/ou gauche sans vision les auteurs ont démontré que les enfants (groupes de 8-10 ans) étaient moins précis que les adolescents (groupes de 16-18 ans) dans toutes les situations et qu'ils semblaient utiliser des stratégies différentes. En effet, les enfants avaient tendance à utiliser des mouvements plus directs impliquant des erreurs de positionnement plus grandes, mais une durée de mouvement plus courte et une vélocité plus stable. Les enfants semblent donc plus utiliser une approche de mouvement balistique, alors que les adolescents une approche plus dépendante de l'utilisation de l'information disponible (Hay et al., 2005; Goble, Lewis, Hurvitz & Brown, 2005). Cette affirmation va dans le sens de la théorie de Bernstein qui définit la coordination et la régulation du mouvement dans un système circulaire où un *comparateur* joue un rôle de premier ordre dans la correction de l'action. Ce comparateur permettrait l'adaptation de l'action en créant des corrections au stade initial, lors de la planification cognitive de l'action. Ce

phénomène amènerait avec le temps (donc avec l'âge), une réorganisation complète du programme moteur et donc un changement dans l'approche tactique de l'exécution de la tâche (Berthoz, 1997; Rigal, 1995).

Stratégie d'action en fonction de l'âge

Une autre étude a démontré, en absence de vision et en situation de vibration, que les enfants de 5-7 ans ont des gestes plus balistiques, ce qui rend les sujets de cet âge plus efficaces au niveau de l'amplitude des mouvements, mais moins performants au niveau du positionnement spatial (Hay et al, 2005). C'est à l'aide d'une tâche de pointage que Hay et al (2005) ont démontré le rôle de l'information proprioceptive dans le contrôle de l'action au niveau statique et dynamique chez l'enfant. En perturbant le mouvement par vibration du muscle agoniste et antagoniste, ils ont démontré des variations dans les résultats comparativement à la situation sans vibration. Ainsi, quatre groupes, entre 15 et 12 participants, de garçons et de filles âgés entre 5 et 11 ans ont été testés dans des conditions identiques de vibration (80 Hz à -20°, 0°, 20° et 40°) dans une tâche de flexion et d'extension du poignet de pointage d'une cible. L'analyse de la phase dynamique du mouvement démontre des erreurs de la position relative, associée à la perturbation par vibration, pendant et à la fin du mouvement pour tous les âges. Toutefois, lors de la perturbation par vibration en phase statique, l'erreur était davantage reliée à l'âge par le fait que les sujets de 5 ans démontraient une erreur significativement plus grande par rapport aux autres sujets au niveau de la position du poignet (Hay et al., 2005). Ce qui laisserait supposer que la proprioception chez l'enfant serait impliquée dans tous les processus d'action, mais que la différence liée à l'âge résiderait dans la capacité à utiliser une et/ou l'autre des informations en fonction de leurs disponibilités. En bref, en vieillissant, il se produirait une juxtaposition des informations visuelles et proprioceptives afin de mieux corriger l'action. Les enfants de 5 ans pourraient donc être plus perturbés par la vibration au début du mouvement s'ils utilisent une stratégie

balistique que les sujets plus âgé. Comme la précision du mouvement en mode balistique dépend de la calibration initiale, si cette calibration initiale est perturbée (par la vibration) le geste devient moins précis que dans une situation sans perturbation.

Au niveau des sexes

Au niveau de la différenciation entre garçons et filles, Sigmundsson et al. (2000) suggèrent qu'il existe une sensibilité proprioceptive accrue chez les garçons à l'âge de 9 ans. Cette différence se résorbe toutefois avec le temps. Vers l'âge de 12 ans la sensibilité proprioceptive n'est pas différente entre les sexes. Toutefois, les auteurs à l'aide d'une tâche de pointage entre mains et pieds (main droite-pied droit, main droite-pied gauche, etc.), amènent une conclusion qui associerait la sensibilité proprioceptive à la spécificité de la tâche en fonction du sexe du sujet. En effet, leurs résultats démontrent une différence de sensibilité proprioceptive entre garçons et filles entre 8 et 12 ans qu'ils associeraient à la maturation et/ou aux habitudes de jeux des différents sexes.

CHAPITRE III

PROBLÉMATIQUE

Afin d'aider l'élève dans sa démarche de décomposition de l'action, concrètement ou en pensée, afin d'établir une hiérarchie ou un rapport entre les éléments de la tâche (définition de l'analyse, Legendre, 2001) ou de la formulation d'un jugement sur l'atteinte d'un but prédéfini d'une tâche (définition de l'évaluation, Legendre, 2001) le MEQ publie un document sur l'évaluation des apprentissages en lien direct avec les fondements du nouveau programme de 2001. Par le biais de grille d'observation (par auto évaluation), d'entrevue, de journal de bord et/ou d'un porte folio, l'intervenant doit favoriser chez l'apprenant le développement d'une technique égocentrique d'évaluation et d'analyse, donc de correction. En ces termes, en éducation physique, quels sont les éléments dont l'élève dispose afin de compléter ses outils d'auto évaluation et d'auto analyse ?

Dans le domaine de l'apprentissage moteur, la vue, le toucher et la proprioception (incluant le système vestibulaire) sont parmi les moyens dont dispose l'élève afin d'apprécier ses actions et les évaluer. A juste titre, plusieurs auteurs ont démontré l'utilité de la proprioception au niveau de l'action et de l'amélioration d'habiletés motrices de l'élève (Hay et al., 2005). Cette dernière pourrait donc être davantage considérée en éducation physique et à la santé afin de favoriser la capacité d'auto évaluation de l'apprenant.

3.1 Question de recherche

En activité physique, la gymnastique acrobatique est un moyen d'action qui sollicite beaucoup l'utilisation et le traitement de l'information proprioceptive pour la

correction des actions. J'espère donc, dans le cadre de cette recherche, faire le point sur ce moyen d'action en analysant la question suivante :

Peut-on, par le biais d'un moyen d'action comme la gymnastique acrobatique, favoriser l'utilisation de la proprioception chez l'enfant comme rétroaction interne pour le contrôle du mouvement?

3.2 Justification

Apprentissage moteur

Dans le domaine de l'apprentissage moteur les deux éléments principaux favorisant l'apprentissage d'habiletés motrices, et donc de savoir-faires, sont la pratique et la rétroaction (Schmidt & Lee, 1999). Le principal moyen que peut utiliser l'élève lui-même, afin de s'évaluer et s'améliorer, est donc la rétroaction interne puisque la pratique lui fournit les essais nécessaires afin de lui permettre cette analyse et cette évaluation de ses actions dans un contexte d'apprentissage donné.

En termes de rétroaction interne, la proprioception a fait l'objet de plusieurs recherches en apprentissage moteur. En effet, de nombreux chercheurs ont démontré que la pratique de différentes activités physiques a un impact sur la sensibilité et l'amélioration cette dernière. Dans le cadre de la gymnastique acrobatique, divers travaux sur la proprioception ont démontré un effet positif de l'expertise sur le contrôle postural chez les gymnastes (Vuillerme et al., 2001; Vuillerme, Danion, Marin, Boyadjian, Prieur, Weise et Nougier, 2001; Danion, Boyadjian et Marin, 2000). Toutefois, peu de travaux se sont intéressés à l'interaction de la gymnastique acrobatique et de l'orientation spatiale du sujet par rapport à lui-même. De plus, de façon plus générale, nous ne disposons que de très peu d'informations sur le développement de la rétroaction interne chez l'enfant dans le contrôle moteur et sur sa capacité d'intégrer les informations internes et externes.

Rôle de l'éducateur

De plus, plusieurs moyens d'action en éducation physique et à la santé (ÉPS) permettent l'apprentissage de l'utilisation efficace de ces moyens d'auto analyse, d'auto évaluation et d'auto correction discutés précédemment. Cependant, par le temps limité des cours d'ÉPS, le rôle des éducateurs physiques ne se limite pas à trouver des situations d'enseignement-apprentissage éducatives. Leur rôle revient aussi à utiliser les moyens d'action favorisant au maximum l'apprentissage des moyens de correction des actions afin d'optimiser le développement de compétences chez l'apprenant. En effet, le Ministère de l'éducation a défini, dans la formation des nouveaux professeurs des milieux scolaires, douze compétences qui vont en ce sens. Parmi celles-ci, nous retrouvons, entre autres, celle de développer des situations d'enseignement-apprentissage qui permettent à l'apprenant de sélectionner, d'interpréter et de comprendre l'information disponible (La formation à l'enseignement, 2001). Et par le fait même, en définissant un moyen d'action favorisant l'amélioration d'un moyen d'auto évaluation efficace, du temps supplémentaire pourrait être accordé aux élèves par le professeur en permettant une observation plus systématique, individualisée et pertinente en fonction des besoins de l'apprenant.

En tant qu'éducateur physique et à la santé et entraîneur de gymnastique acrobatique, il est aisé de constater qu'un moyen d'action aussi riche qu'est la gymnastique acrobatique, au niveau du développement des rétroactions internes, soit une excellente solution pour aider les professionnels de l'enseignement en ÉPS au préscolaire et au primaire dans leur tâche d'éducateur.

CHAPITRE IV

MÉTHODOLOGIE

4.1 Appareillage

Un vibreur est placé sur le tendon du gastrocnémien (tendon d'Achille) à une hauteur de 15 cm à partir du talon de la jambe dominante. La jambe dominante est déterminée par un test de chute vers l'avant. Le sujet se tient en position debout les deux jambes collées et se laisse tomber vers l'avant. La consigne est qu'il doit rattraper sa chute en plaçant une jambe en avant. La jambe ainsi placée sera déterminée comme étant la jambe dominante du sujet. La dominance fonctionnelle du pied est généralement testée à l'aide de tâches simples comme frapper dans un ballon. La jambe dominante est définie comme le membre exécutant des actions de manipulation et de mobilisation, tandis que l'autre jambe (non-dominante) sert de membre stabilisateur ou de support (Olex-Zarychta & Raczek, 2008). En gymnastique artistique et acrobatique, on peut associer la jambe dominante à la jambe d'appel dans une tâche simple comme la roue latérale qui s'associe à une chute vers l'avant. D'où l'utilisation de ce test pour définir la jambe dominante du sujet. Le vibreur utilisé est un modèle fabriqué maison par un technicien de l'Université McGill qui est utilisé dans le laboratoire de posture du Dr. Fung (Thompson, Bélanger, Fung, 2007). Le vibreur a été utilisé à une fréquence de 80 Hz et une amplitude de 1 mm pendant toute la durée du mouvement dans les situations de perturbation. Les mouvements ont été enregistrés par une caméra vidéo numérique de marque Sony (modèle handycam, mini DV, objectif Carl Zeiss Vario-Tessar DCRHC62) et les variations angulaires déterminées à l'aide de 3 marqueurs situés à la base du 5^e orteil, sur la malléole latérale et sur l'épicondyle latéral au niveau du genou (Figure 5). Les images vidéo ont ensuite été transférées sur un ordinateur et

analysées à l'aide du logiciel T.E.M.A. (*Track Eyes Motion Analysis*) qui évalue les variations angulaires des articulations pendant toute la durée du mouvement. Afin d'aider l'expérimentateur pour le positionnement de la cheville en situation de référence, un goniomètre numérique, fabriqué par monsieur Robin Drolet (technicien à l'UQAM) dans le cadre du projet K-0701, indiquait l'angle de l'articulation) (Figure 5).

4.2 Sujets

Recrutement

Deux groupes distincts, de 10 gymnastes chacun, en gymnastique artistique et acrobatique féminine de niveau compétitif, ont été formés afin de détenir une population d'expertise différente. Les sujets ont été recrutés dans les clubs de gymnastique de la région montréalaise. De plus, un groupe contrôle de huit sujets ne pratiquant aucune activité sportive continue a été créé. Le calcul de la taille de l'échantillon a été réalisé avec un test de puissance statistique (Sigmastat, Ver 2.01) et le nombre de sujets requis était 6. Un formulaire de consentement de participation à l'étude entre chaque sujet (gymnaste et non-gymnaste), les parents et le chercheur a été signé. De plus, avant de débiter les démarches de sélection des sujets, les responsables des clubs ont été informés et une entente verbale a été conclue pour autoriser les démarches du chercheur dans le club. La recherche a été approuvée par le comité départemental d'éthique de l'UQAM (voir annexe #6).

Critères d'inclusion

Tous les sujets étaient de sexe féminin. Les participantes gymnastes sont toutes classées au niveau Provincial 2 ou Provincial 3, selon les normes de la Fédération de Gymnastique du Québec (FGQ) (Politiques, règlements et procédures gymnastique artistique, www.gymnastique.qc.ca, 2006). Les deux différents groupes de gymnastes sont divisés en termes d'années d'expertise au niveau compétitif. Les

groupes ont une expertise moyenne de 1,7 année en gymnastique pour le premier groupe (A2) et de 3,9 années d'expérience pour le deuxième groupe (A4). Les sujets gymnastes étaient âgées de 12,9 à 13,7 ans (moyenne d'âge des sujets gymnastes de 13,3 ans) et le nombre d'heures d'entraînement par semaine est en moyenne de 11,5 heures, dans un club de gymnastique reconnu par la FGQ. Pour le groupe contrôle, les sujets ne pratiquaient aucune activité gymnique compétitive ou toutes autres activités sportives impliquant des compétitions. Dans ce groupe les sujets étaient âgés de 13 à 13,8 ans (moyenne d'âge de 13,4 ans). Les sujets ont tous répondu au formulaire d'information élaboré par le chercheur afin de définir les caractéristiques des groupes (voir en Annexe 3 et 4). Il est à noter ici qu'un seul sujet sur les 28 faisait partie d'un programme sport étude (en danse).

Critères d'exclusion

Tous les sujets à l'étude sont exempts de blessures aux membres inférieurs et ne pratiquent aucune autre activité sportive à raison de plus de deux heures par semaine.

4.3 Protocole

Pour évaluer la capacité de traitement de l'information proprioceptive, une perturbation créée par vibration du tendon d'Achille a été utilisée lors d'un mouvement de flexion dorsale et flexion plantaire de la cheville. La tâche était divisée en deux temps, une partie statique (mouvement uniquement) et une partie dynamique (mouvement au cours de la marche).

Tâche statique

La tâche statique (S), consistait à reproduire une flexion plantaire ou flexion dorsale de la cheville avec le pied dominant sans vision. Le sujet était assis sur le bord d'une table avec la jambe testée libre et les genoux bien appuyés sur le bord de

la table. Le pied testé était laissé neutre, cette position était enregistrée comme position de départ (0%). Dans un 1^{er} temps, la tâche du sujet consistait à placer son pied dominant à l'amplitude dictée verbalement par l'expérimentateur. Ce dernier indiquait tout d'abord aux sujets la direction du mouvement (flexion plantaire ou dorsale); donnait un signal de départ pour l'exécution du mouvement (Go!) et un signal d'arrêt (Stop!) quand l'amplitude visée était atteinte. L'expérimentateur contrôlait les amplitudes visées grâce à un goniomètre placé sur la cheville du sujet qui indiquait les amplitudes exactes. Ensuite, il s'agissait pour le sujet, de reprendre, par lui-même et sans vision, la même position qu'auparavant (avec le même pied). Trois positions ont été sélectionnées en termes de pourcentage de flexion plantaire ou flexion dorsale maximale de chaque sujet. En identifiant initialement la capacité de flexion plantaire et flexion dorsale maximale de la cheville du sujet nous avons été en mesure de calculer des angles à différents pourcentages de flexion (30% et 60% de la flexion dorsale maximale et 50% de la flexion plantaire maximale) (Figure 6). Dans ce dernier cas une seule position a été sélectionnée car l'excursion angulaire est plus petite.

En résumé, prenons un exemple concret, le sujet place son pied à un angle de +60% de sa flexion dorsale maximale en suivant les indications verbales de l'expérimentateur, il maintient cette position quelques secondes et le ramène à la position de départ (position neutre). Au signal de l'expérimentateur, le sujet doit reproduire le mouvement en question à un angle de +60% de sa capacité de flexion dorsale maximale (Figure 7). La même procédure est réalisée pour +60%, +30% et -50%.

Dans cette tâche, dite statique, chaque sujet a été assujetti à deux conditions soit Statique avec vibration (SV) et statique sans vibration (SC). Chaque condition comprend une répétition quasi-aléatoire selon le tableau ci-dessous, chaque position étant testée 3 fois. Tous les essais ont été réalisés dans la même séance en commençant par la condition sans vibration et en poursuivant avec la condition avec vibration. Une période de 30 secondes de repos entre les tests dans la condition avec

vibration a été respectée afin d'éviter l'effet cumulatif de la vibration sur le muscle du tendon vibré.

Pourcentage (%)	Degrés
-50	
+30	
+60	
+30	
+60	
-50	
+60	
-50	
+30	

Figure 4 Amplitudes visées

Tâche dynamique

Dans la tâche dynamique (A), le sujet a réalisé une tâche de locomotion debout. Les sujets, sans vision, devaient marcher trois cycles de marche (environ 4 mètres) et le cycle intermédiaire a servi à l'analyse. Deux phases ont été retenues pour l'analyse, soit la phase d'appui (positionnement du pied sur le sol) et la phase d'oscillation. Le sujet a eu comme consigne de garder la même amplitude de mouvement et de vitesse tout au long de la marche. Un bloc de 4 essais était réalisé et identifié, contrôle actif sans vibration (AC) et expérimental actif avec vibration (AV). La vibration dans les essais du deuxième bloc de la tâche dynamique a été appliquée tout au long de la marche en commençant l'expérimentation avec la situation sans vibration. Une période de 30 secondes de repos entre les tests par vibration a été respectée afin d'éviter l'effet cumulatif de la vibration sur le muscle du tendon vibré.

4.4 Schéma de l'expérimentation

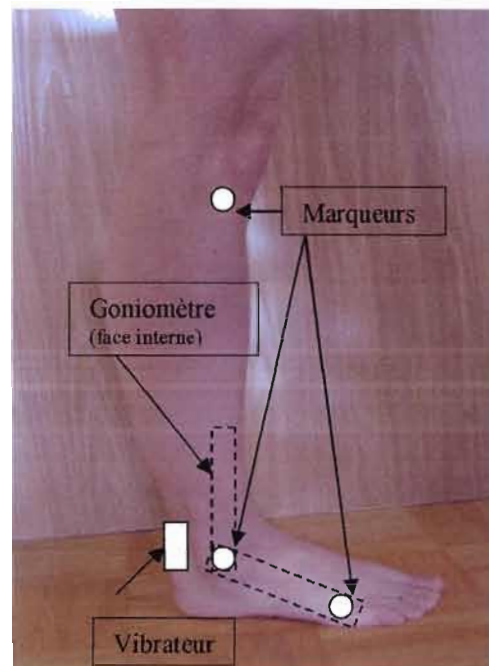


Figure 5 Appareillage

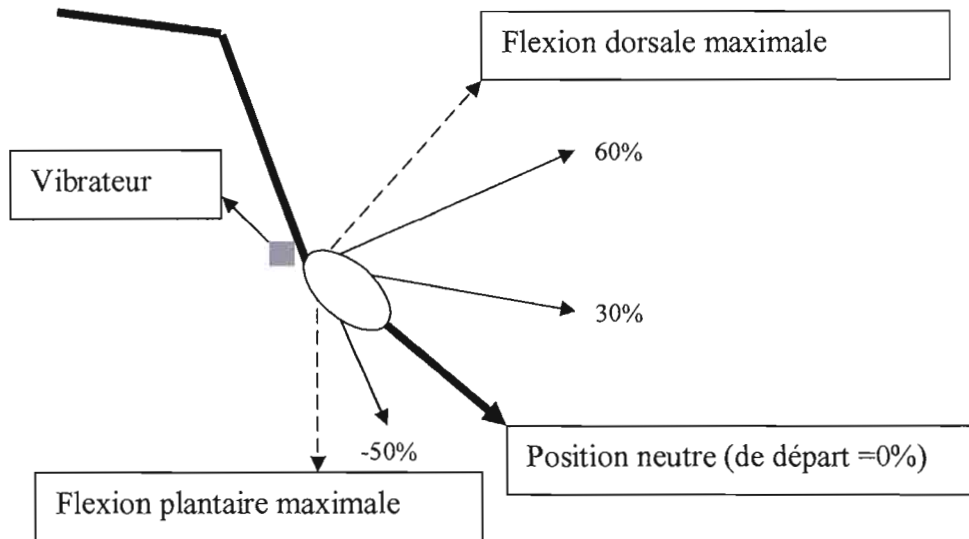


Figure 6 Schéma expérimental

Effet de la vibration (exemple à 60%)

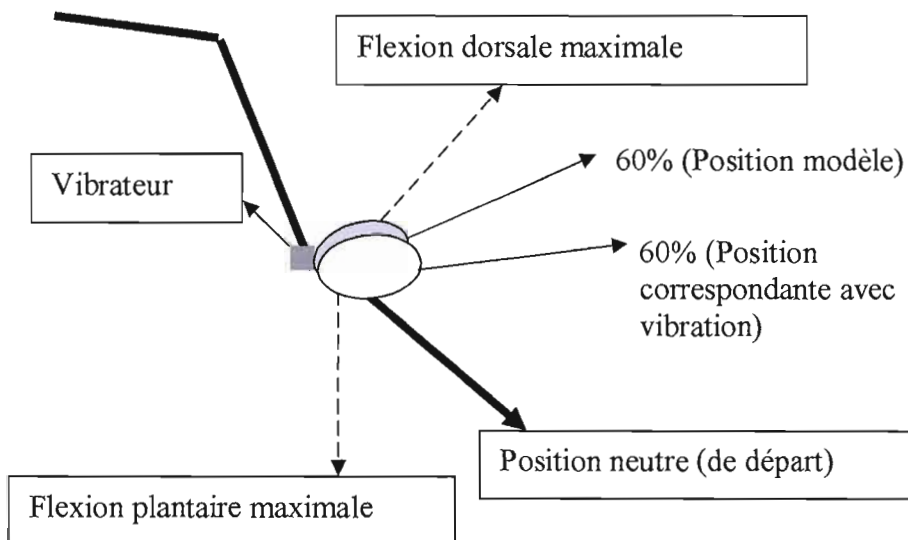


Figure 7 Effet de la vibration sur le mouvement

4.5 Analyse

Dans la tâche statique, deux variables ont été définies.

Ces variables sont :

1. L'écart entre la position finale de la cheville lors de la position modèle et lors de la position correspondante (mesuré en degrés)
2. L'écart entre l'excursion angulaire (distance parcourue en variation angulaire) lors de la position modèle et lors de la position correspondante (mesuré en degrés)

Les deux écarts peuvent donner une estimation de la précision du sujet.

Dans la tâche dynamique, une variable a été définie.

Cette variable est :

1. Le déplacement angulaire de la cheville pendant le 2^e cycle de marche (mesuré en degrés). Le deuxième cycle de marche est défini sur bande vidéo, comprend la phase d'appui et la phase d'oscillation de la jambe dominante lors du 2^e pas de cette même jambe.

Pour les variables de la tâche statique, les écarts ont été calculés en soustrayant les valeurs obtenues pour la position modèle des valeurs obtenues pour la position correspondante. Lorsque la position modèle est supérieure à la position correspondante l'écart est négatif. Lorsque la position modèle est inférieure à la position correspondante l'écart est positif.

Écart (R1)= Position correspondante (PC) - Position Modèle (PMod)

Si $PC < PMod$ la valeur de l'écart est négative

Si $PC > PMod$ la valeur de l'écart est positive

Pour les deux variables de la tâche statique (écart entre la position finale de la cheville lors de la position modèle et lors de la position correspondante et écart entre l'excursion angulaire lors de la position modèle et lors de la position correspondante) deux analyses statistiques ont été réalisées. Premièrement, pour évaluer les effets de l'expérience sur la précision des sujets, tout en tenant compte de la position visée, une analyse factorielle, Expérience (Contrôle, Gymnastes A2, Gymnastes A4) X Positions (-50%, 30% et 60%) a été utilisé ($p < 0,05$). Dans un deuxième temps, pour évaluer les effets de la vibration tout en tenant compte de la position visée un test ANOVA à mesures répétées : Expérience (Contrôle, Gymnastes A2 et Gymnastes A4) X Positions (-50%, 30% et 60%) a été utilisé ($p < 0,05$). Des tests post-hoc (Tukey) ont été réalisés lorsque des effets significatifs ont été identifiés.

Pour la tâche dynamique, pour chacun des groupes, les essais ont été normalisés et moyennés. Un intervalle de confiance (95%, $p < 0,05$) a été calculé pour l'excursion angulaire moyenne de la cheville lors des essais sans vibration. Plusieurs analyses de variances ont été effectuées :

- une analyse de variance à 2 dimensions: Expérience (C, A2, A4) X 11 moments du cycle de marche (0%-100%) pour évaluer les effets de l'expertise sur l'excursion angulaire de la cheville dans le patron de marche
- une analyse factorielle par groupe d'âge: Traitement (Avec et Sans vibration) X 11 moments du cycle de marche (0%-100%) pour évaluer les effets de la perturbation.

Deux variables ont été extraites du cycle de marche de chaque sujet : la flexion dorsale maximale (FDmax) et la flexion plantaire maximale (FPmax). Une analyse factorielle : Traitement X Expérience (C, A2, A4) a été réalisée pour chacune des variables.

CHAPITRE V

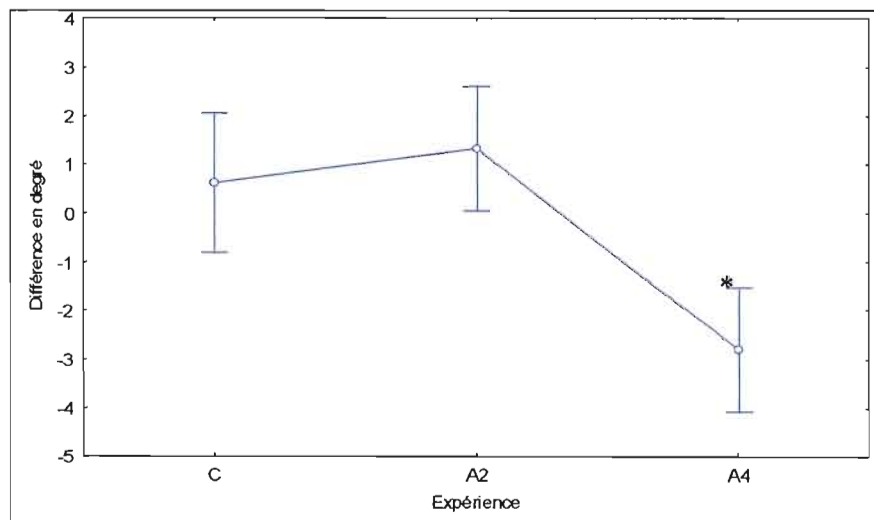
PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

5.1 Tâche statique

5.1.1 Précision dans l'excursion angulaire (EA)

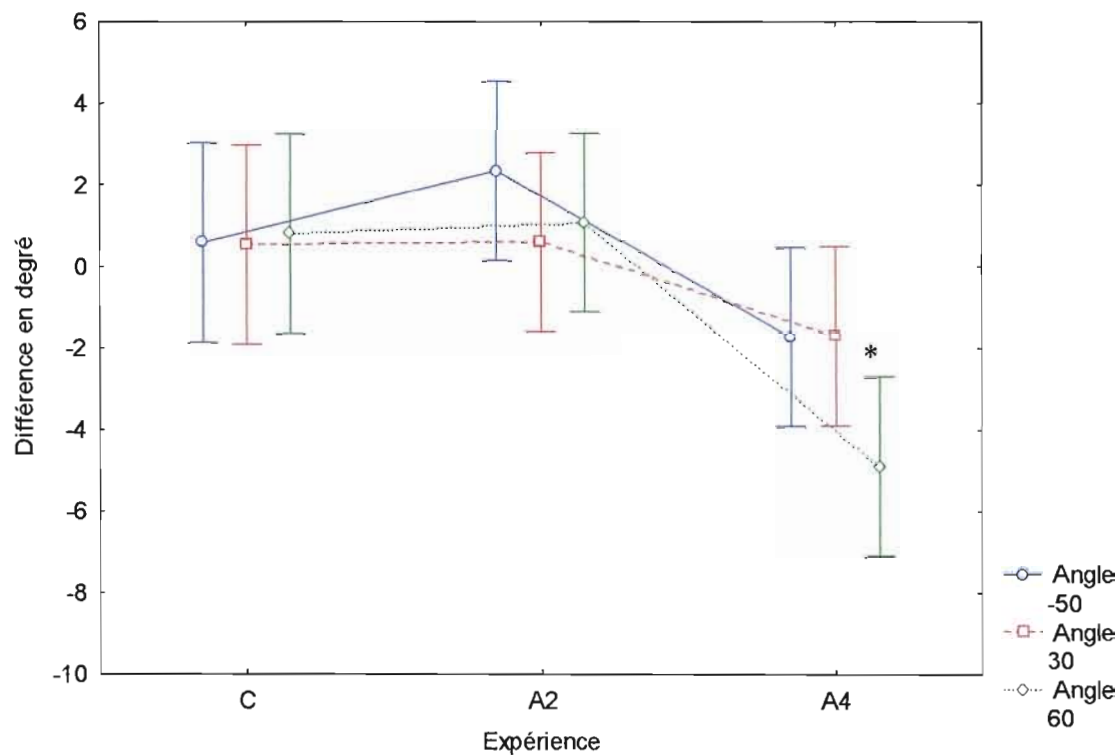
Sans vibration

Pour la variable écart dans l'excursion angulaire, l'analyse factorielle ANOVA démontre un effet significatif de l'expérience ($F=11,90$, $df=2$; $p<0,001$). L'analyse post-hoc révèle que l'écart d'EA des sujets A4 est significativement différente de l'écart d'EA des sujets C et A2 et uniquement pour la position 60%. On constate une variation de l'écart moyen de 0,62 degrés pour les sujets C, de 1,37 degrés pour les sujets A2 et de -2,80 degrés pour les sujets A4. Le graphique ci-dessous représente l'écart entre l'EA modèle et l'EA correspondante sans vibration en fonction de l'expérience.



Graphique 1 Précision dans l'excursion angulaire sans vibration (effet de l'expérience)

Précision dans l'excursion angulaire, sans vibration, selon les différents angles (effet de l'expérience)



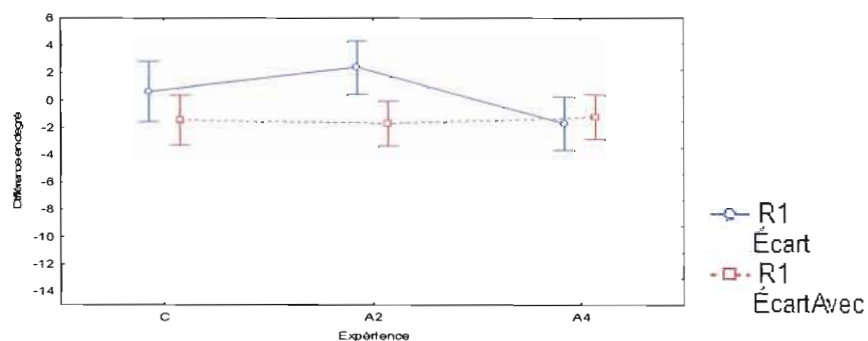
Graphique 2 Précision dans l'excursion angulaire, sans vibration, selon les différents angles (effet de l'expérience)

Dans ce graphique, nous observons une différence significative à un angle de 60% pour les sujets les plus expérimentés (A4) par rapport aux deux autres groupes (C et A2). Toutefois, aucune différence significative n'est observée entre les positions - 50%, 30% et 60% chez les sujets A4.

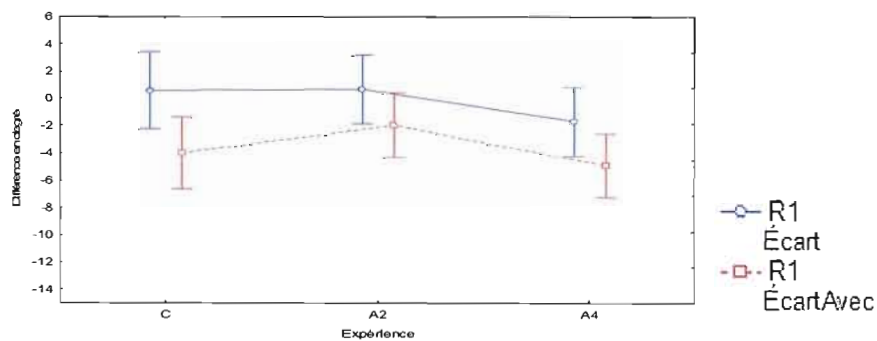
Avec vibration

Pour la variable écart dans l'excursion angulaire, l'analyse ANOVA à mesure répétées démontre un effet significatif du traitement (avec et sans vibration) ($F=29,95$ $df=1$; $p<0,001$) mais aucun effet d'interaction traitement x expérience, traitement x positions ou les 3 combinés (traitement x expérience x position).

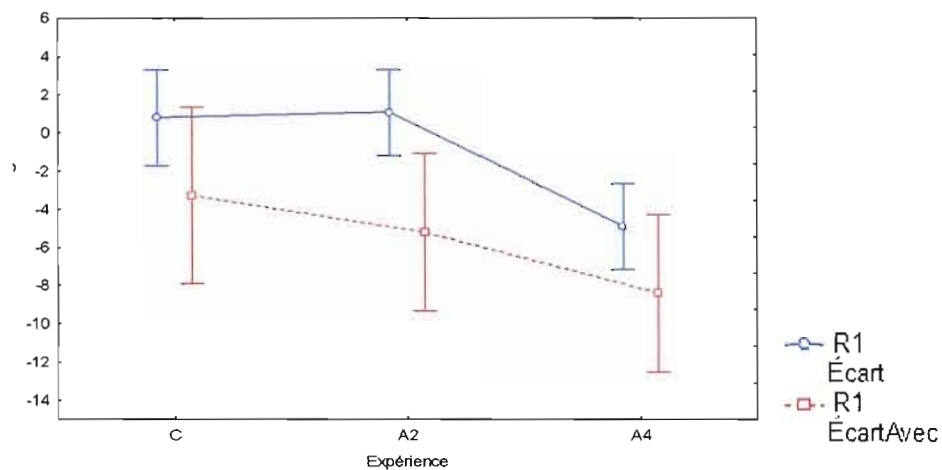
Précision dans l'excursion angulaire selon les différents angles



Graphique 3 Précision dans l'excursion angulaire des sujets en fonction de l'expérience gymnique avec (ÉcartAvec) et sans vibration (Écart) à un angle de -50%



Graphique 4 Précision des sujets en fonction de l'expérience gymnique avec et sans vibration à un angle de 30%



Graphique 5 Précision des sujets en fonction de l'expérience gymnique avec et sans vibration à un angle de 60%

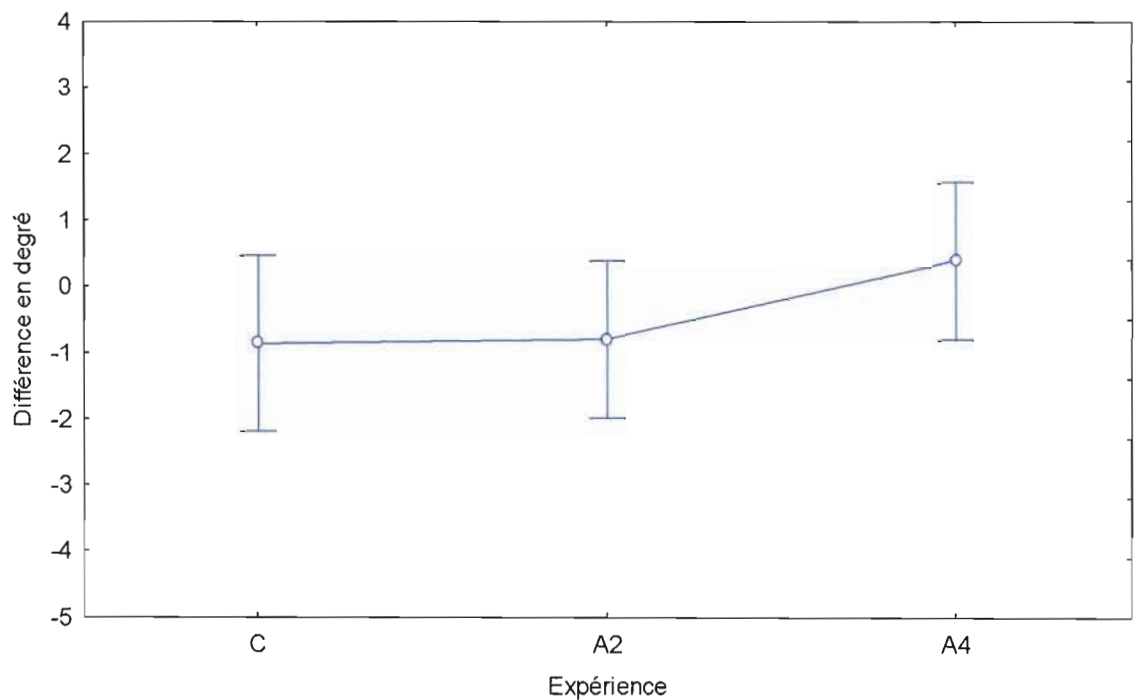
On note un écart plus grand lorsque la vibration a été appliquée pour les 3 angles sollicités et pour tous les niveaux d'expertises, excepté pour les sujets A4 à -50%. Étant donné que l'écart a été calculé en faisant PC-PMod, les résultats montrent qu'avec la vibration les sujets, toutes expertises confondues, ont tendance à avoir une EA correspondante plus petite que l'EA modèle.

5.1.2 Précision dans la position finale

Sans vibration

Effets de l'expérience

Pour la variable position finale, l'analyse factorielle ANOVA ne démontre aucune différence significative au niveau de la précision dans la position finale en fonction de l'expérience gymnique des sujets.



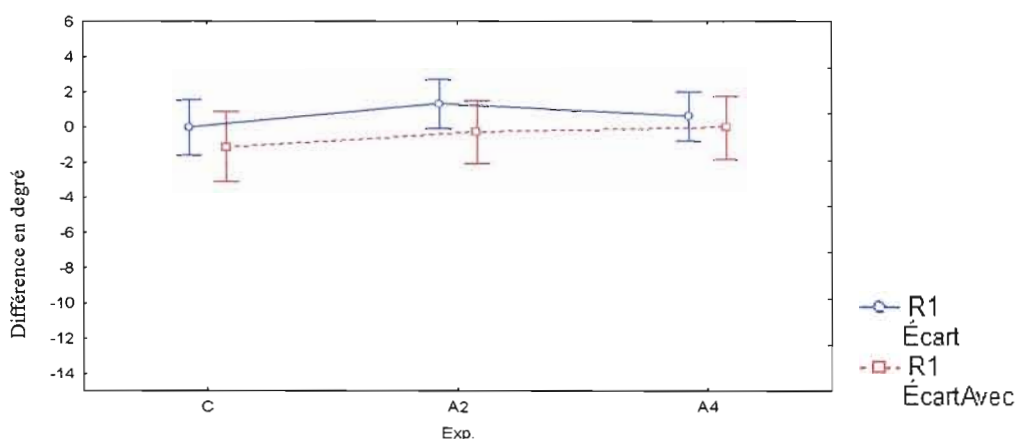
Graphique 6 Précision des sujets en fonction de l'expérience gymnique au niveau de la position finale sans vibration

On constate un écart moyen de -0.86 degrés pour les sujets C, de -0.80 degrés pour les sujets A2 et de 0.37 degrés pour les sujets A4.

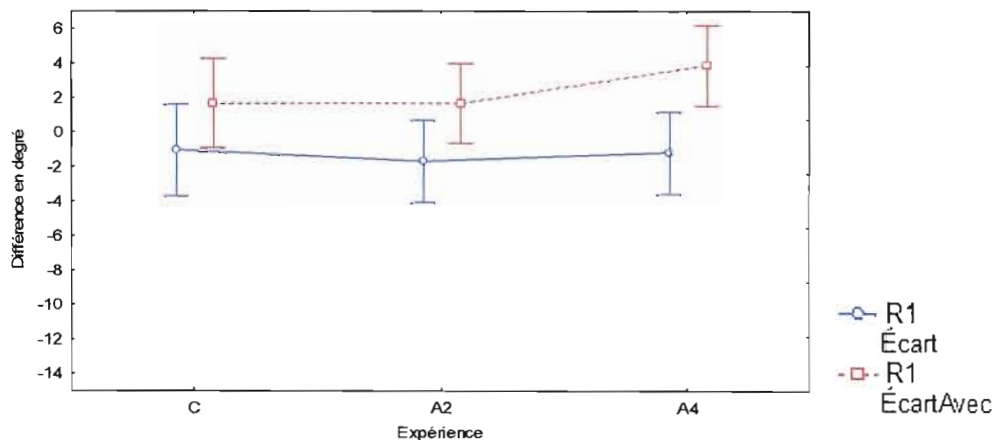
Avec vibration

Pour la variable écart dans la position finale, l'analyse ANOVA à mesures répétées démontre un effet significatif du traitement (avec et sans vibration) ($F=24,52$ $df=1$; $p<0,001$), un effet d'interaction entre les variables position et traitement ($F=13,24$ $df=2$; $p<0,001$) mais aucun effet d'interaction expérience x traitement.

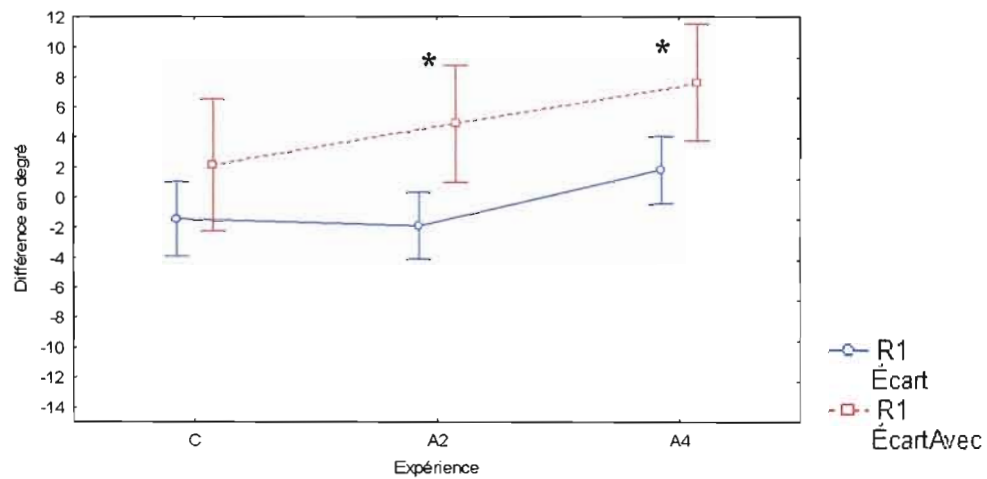
Précision de la position finale selon les différents angles



Graphique 7 Précision des sujets en fonction de l'expérience gymnique avec et sans vibration à un angle de -50%



Graphique 8 Précision des sujets en fonction de l'expérience gymnique avec et sans vibration à un angle de 30%

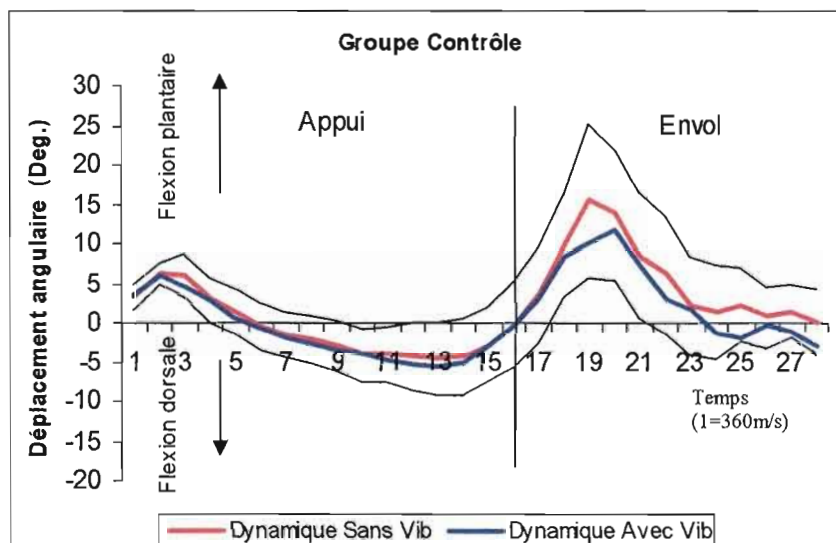


Graphique 9 Précision des sujets en fonction de l'expérience gymnique avec et sans vibration à un angle de 60%

L'analyse post-hoc révèle des effets liés à la vibration uniquement pour les sujets A4 à 60% ($p < 0,05$) et pour les sujets A2 à 60% ($p < 0,01$). On note qu'avec la vibration en flexion dorsale, les sujets ont tendance à dépasser la position modèle.

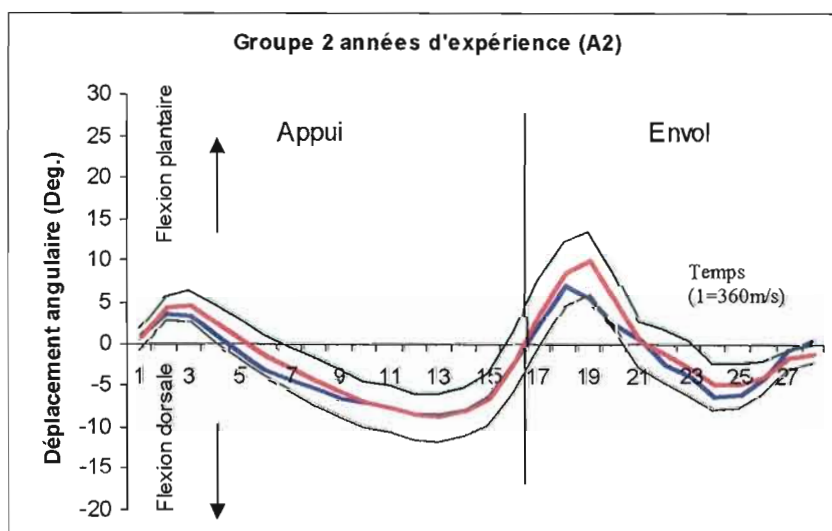
5.2 Tâche dynamique

Groupe contrôle



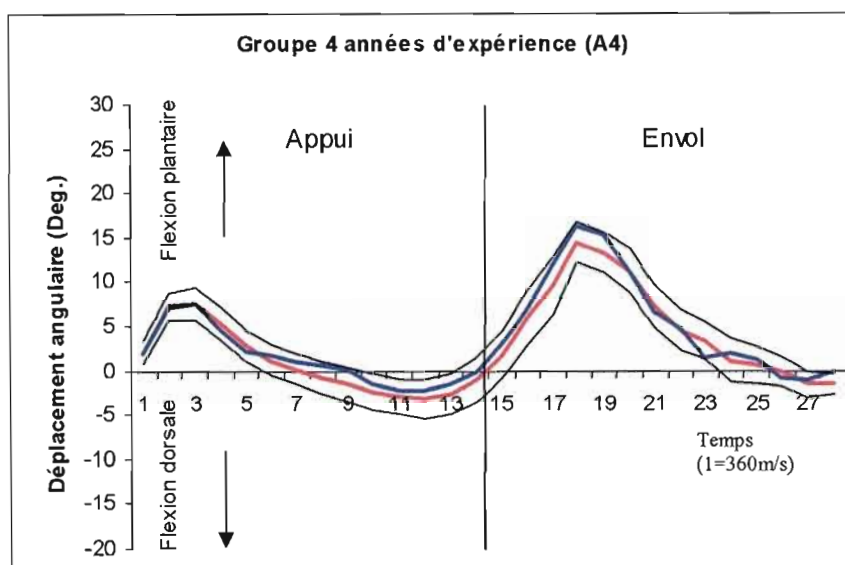
Graphique 10 Déplacement angulaire de la cheville en situation de marche avec et sans vibration pour le groupe contrôle (C)

Groupe 2 années d'expertise



Graphique 11 Déplacement angulaire de la cheville en situation de marche avec et sans vibration pour le groupe 2 années d'expertise (A2)

Groupe 4 années d'expertise



Graphique 12 Déplacement angulaire de la cheville en situation de marche avec et sans vibration pour le groupe 4 années d'expertise (A4)

L'analyse de variance Expérience x Moments du cycle de marche n'a révélé aucun effet significatif d'interaction entre l'expérience et les différents moments du cycle de marche. Ce qui signifie qu'il n'y avait pas de différence dans l'excursion angulaire de la cheville au cours de la marche qui soit liée aux expertises différentes des sujets.

L'analyse de variance Traitement X moments du cycle de marche n'a révélé aucun effet significatif lié à la vibration et qui soit dépendant des différentes phases du cycle de marche.

Pour la variable FPmax, l'analyse de variance démontre un effet d'expérience ($F=7,51$, $df=2$, $p \leq 0,001$). L'analyse post-hoc (Tukey) démontre une différence entre les sujets A4 et les sujets A2 dans la condition vibrée ($p \leq 0,001$). Comme le montre les figures ci-dessus, cette différence peut s'expliquer par le fait que pour les sujets A4 dans la condition avec vibration il y a une augmentation de la flexion plantaire

lors de la phase d'oscillation d'environ 2 degrés, tandis que, pour les sujets A2 il y a une diminution de cette flexion plantaire pendant la phase d'oscillation d'environ 1 degré.

Pour la variable FDmax, l'analyse de variance démontre un effet d'expérience ($F=12,15$, $df=2$, $p \leq 0,001$). L'analyse post-hoc (Tukey) démontre une différence entre les sujets A4 et A2 dans les situations avec et sans vibration ($p \leq 0,05$). Comme le montre les figures ci-dessus, les sujets A2 ont une flexion dorsale maximale plus grande (d'environ 5 degrés) lors de la phase d'appui.

CHAPITRE VI

ANALYSE ET DISCUSSION

Précision des sujets dans la tâche statique

La première tâche que les sujets devaient effectuer était une tâche de reproduction de mouvement au cours de laquelle les sujets devaient dans un premier temps adopter une certaine position de la cheville, la mémoriser pour ensuite la reproduire le plus fidèlement possible. Dans cette tâche les sujets avaient les yeux ouverts mais pouvaient difficilement utiliser le contrôle visuel compte tenu de leur posture assise pour la tâche.

Dans un premier temps nous pouvons nous attarder aux effets de l'expérience gymnique sur le contrôle proprioceptif de la précision angulaire de la cheville (reproduction de mouvement sans vibration). D'après les résultats obtenus, dans la tâche statique, nous remarquons que les sujets avec peu d'expérience (A2) et sans expérience (C) gymnique sont aussi précis pour l'excursion angulaire que pour le positionnement final. Dans la situation sans vibration l'écart est très mince entre le mouvement modèle et celui reproduit par le sujet. Ces résultats démontrent qu'à l'âge de 13 ans les pré-adolescentes ont une très bonne capacité pour encoder un mouvement de la cheville et pour le reproduire.

Une faible expérience dans la pratique de la gymnastique n'influence donc pas vraiment la précision en tant que tel chez les jeunes. Toutefois, les résultats nous permettent de constater que les sujets les plus expérimentés (A4) sont moins précis dans la situation d'un angle de 60°. Ce phénomène pourrait s'expliquer par le fait que la flexion dorsale est un mouvement très peu sollicité en gymnastique artistique

et acrobatique et même pénalisé dans la pratique gymnique. Cette proposition serait en accord avec la théorie de la spécificité de l'apprentissage (*the specificity of learning theory* de Barnett, Ross, Schmidt & Todd, 1973), selon laquelle les sujets auraient une meilleure précision pour des gestes qu'ils pratiquent régulièrement au détriment de ceux qui sont peu pratiqués.

Ces résultats corroborent ceux de Cadopi, Chatillon et Baldy (1995) et de Hay et Redon, (1997) sur le fait que les enfants atteindraient une stabilité proprioceptive vers l'âge de 12 ans. À cet âge, d'un point de vue développemental, nous savons qu'en termes de stratégie, les enfants sont capables de passer d'une stratégie balistique à une stratégie de rétroaction (Rigal, 1995). A cet âge, il utilise donc une ou l'autre des stratégies selon les circonstances. De plus, vers l'âge de 13 ans, ils ont un bon contrôle de l'amplitude et de la position finale (Hay & al., 2005). Ceci pourrait expliquer le faible taux d'erreurs qui serait dépendant uniquement de l'âge du sujet.

Effets de la vibration en tâche statique

Selon Hay et al. (2005), la vibration est reconnue pour induire une sensation de mouvement dans un membre immobile qui correspond à l'étirement du muscle vibré. La vibration du tendon peut aussi être appliquée pendant un mouvement dirigé afin de modifier les fonctions sensorielles proprioceptives. La vibration appliquée uniquement sur le muscle étiré durant le mouvement à l'étude entraîne une augmentation de l'intensité d'action des fibres neuromusculaires, ce qui se traduit par un signal d'une vitesse augmentée. La vibration génère un biais proprioceptif qui conduit à une déviation de la trajectoire du mouvement (Hay et al, 2005).

Nos résultats démontrent que la vibration a eu un effet sur l'excursion angulaire pour les trois catégories de sujets. Bien que de faible amplitude (en moyenne 3 degrés de différence au niveau des écarts), cet effet s'est manifesté par une diminution de l'excursion angulaire lors de la reproduction du mouvement comparativement au mouvement modèle. Cette tendance concorde avec la suggestion

de Hay et al. (2005). Si la vibration au cours du mouvement donne la sensation d'un mouvement plus rapide, une des stratégies que peuvent utiliser les sujets pour reproduire le mouvement cible est d'arrêter leur mouvement plus tôt, ce qui diminue l'excursion angulaire de la cheville.

Dans nos résultats les seuls effets significatifs liés à l'expertise des sujets et associés à l'effet de la vibration apparaissent dans le positionnement final de la cheville dans l'espace. Ces effets se manifestent au niveau de la flexion dorsale (Graphique 8 et 9) ce qui est cohérent avec le fait que nous ayons vibré uniquement le tendon d'Achille. Les effets ressortent uniquement chez les sujets ayant une expérience gymnique. Ces sujets ont, en effet, tendance à se positionner plus dorsalement dans la situation de concordance avec vibration que la position modèle et ce uniquement à 60%. Ce qui pourrait indiquer que les sujets gymnastes, pour cette amplitude de mouvement, ont du mal à estimer la position finale à atteindre lorsque le signal proprioceptif est perturbé. Les résultats relatifs à l'excursion angulaire montrent qu'il y a une compensation chez les sujets mais cette compensation semble insuffisante chez les sujets gymnastes. Ces résultats sont en concordance avec ceux de Nougier et al. (1996) avec des sujets déafférentés qui laissent supposer que le sens proprioceptif jouerait un rôle crucial au niveau de la calibration spatiale des membres afin d'atteindre une position finale (voir aussi Capaday & Cooke, 1981).

Ces résultats démontrent que la vibration, qui est une perturbation de l'information proprioceptive (Goodwin & al., 1972; Roll & Vedel, 1982; Albert et al., 2006), affecte davantage les sujets gymnastes. Il s'agit toutefois d'un effet très sélectif puisque pour le même mouvement de flexion dorsale à 30% la différence d'écart avec ou sans vibration n'est pas significative. Comme proposé précédemment pour l'excursion angulaire, il est probable que cette différence entre les résultats observés à 30% et à 60% soit due au fait que les flexions dorsales de plus grande amplitude (donc proches de 60% du maximum) soient peu sollicitées en gymnastique et que par conséquent plus les sujets ont de l'expérience moins elles ont d'opportunité d'exercer ce mouvement. Déjà sans vibration les sujets les plus expérimentés commettaient le

plus d'erreur pour reproduire une flexion dorsale à 60% du maximum. En présence de la vibration, donc avec un signal proprioceptif perturbé, les gymnastes commettent également plus d'erreurs. Ces erreurs peuvent être dues à une mauvaise perception de la position spatiale attendue, due peut-être à un manque de pratique, ce qui conduirait à une reproduction approximative. Compte tenu de ces observations, il serait intéressant suite à cette étude de mesurer les effets d'une vibration sur le tendon du tibialis antérieur et sur les mouvements de flexion plantaire qui sont davantage pratiqués en gymnastique. Cette approche permettrait peut-être d'examiner de façon plus ciblée l'utilisation de l'information proprioceptive chez les gymnastes. Une autre interprétation pourrait être que pour des mouvements de plus grande amplitude l'utilisation du signal proprioceptif est différente et que par conséquent une perturbation de ce même signal entraîne davantage d'effets à 60% qu'à 30%.

Ces constatations nous amènent à suggérer que la pratique de la gymnastique chez les jeunes filles de 13 ans les rendrait plus sensibles à la perturbation du signal proprioceptif par vibration pour des actions de flexion dorsale de grande amplitude de la cheville.

Effets de la vibration en situation dynamique

En contexte de marche, la vibration n'a entraîné aucun effet significatif sur l'excursion angulaire de la cheville, pour les 3 groupes de sujets. Dans une étude utilisant le même protocole chez l'adulte, Verschueren et al. (2002) ont observé suite à la vibration du tendon d'achille une diminution de la flexion dorsale pendant la phase d'appui et à la fin de la phase d'oscillation (diminution de 1,7 degré). Cette différence de résultats avec notre étude est peut-être due au fait que la flexion dorsale chez nos sujets était de plus faible amplitude que chez l'adulte, excepté pour les sujets A2. Pour ces sujets la flexion dorsale maximale était significativement plus grande que celle des sujets des deux autres groupes dans les deux conditions, avec et sans

vibration. Toutefois la vibration n'a pas eu d'effets significatifs sur la flexion dorsale chez les sujets A2 même si l'amplitude de leur mouvement était plus grande.

En ce qui concerne la flexion plantaire maximale pendant la phase d'oscillation dans la condition sans vibration, nos résultats montrent qu'elle est équivalente dans les trois groupes de sujets. Cependant, les sujets A4 ne semblent pas réagir à la vibration de la même façon que les sujets A2 et C. Chez les sujets A4, la flexion plantaire maximale a tendance à augmenter sous l'effet de la vibration, alors que chez les deux autres groupes de sujets, elle a tendance à diminuer. Le fait d'observer plus de changement en phase d'oscillation qu'en phase d'appui est concordant avec Verschueren et al. (2002) qui suggèrent que pendant la phase d'appui le membre est davantage stabilisé, donc plus contraint mécaniquement tandis qu'en phase d'oscillation le membre est dans les airs et donc plus libre de bouger et d'être affecté par la vibration. La réaction différente des sujets A4 sous l'effet de la perturbation peut peut-être s'expliquer par des mécanismes de compensation différents dus à l'expérience. En situation statique, les sujets A4 réagissaient également différemment à la vibration en flexion plantaire (-50%) pour la variable « écart dans l'excursion angulaire ». Alors que les sujets C et A2 montraient une excursion angulaire en flexion plantaire plus petite que celle attendue, les sujets A4 étaient capables de compenser et conservaient le même écart avec et sans vibration. Ces deux effets en situation statique et dynamique sont probablement reliés.

CHAPITRE VII

CONCLUSION

Les résultats de cette étude montrent que les pré-adolescentes ont une très bonne capacité de reproduction de mouvement de la cheville basée sur le traitement de l'information proprioceptive. Si cette information est perturbée par la vibration artificielle du tendon d'achille, les sujets s'adaptent en réduisant l'excursion angulaire de la cheville. Toutefois cet effet semble assez généralisé puisqu'il apparaît autant en flexion dorsale qu'en flexion plantaire, alors que la vibration était appliquée sur le tendon d'achille seulement. La diminution de l'excursion angulaire est donc peut-être davantage une réaction sensorimotrice à l'application de la perturbation. Les effets de la vibration apparaissent plus sélectifs au niveau de la position finale de la cheville dans l'espace. D'ailleurs l'analyse a révélé des effets d'interaction traitement x position pour la variable position finale mais pas pour la variable excursion angulaire. La vibration a eu peu d'effets au niveau de la flexion plantaire mais a entraîné des erreurs de positionnement en flexion dorsale entraînant une tendance à dépasser la position modèle. Pour une flexion dorsale de petite amplitude les sujets n'ont pas été affectées puisqu'il n'y avait pas de différence significative avec ou sans perturbation pour chacun des groupes. Par contre à 60% les gymnastes ont été les seules à commettre des erreurs de positionnements, ce qui confirmerait notre hypothèse initiale que les sujets gymnastes, par leur expertise gymnique utiliseraient davantage l'information proprioceptive au niveau de la cheville pour contrôler la précision de leur positionnement dans l'espace. Nos résultats montrent que ce phénomène s'appliquerait uniquement à partir d'une certaine amplitude de mouvement.

Dans le contexte de la tâche dynamique la vibration a eu peu d'effets. Comme le souligne Verschueren et al (2002), la phase d'oscillation est le moment où les effets de la perturbation sont les plus observables. Dans le cas de notre étude, ce

temps était peut-être insuffisant pour que des effets liés à la pratique de la gymnastique soient observables.

Expertise gymnique

D'un point de vue professionnel, il est important de noter qu'en seulement une année de pratique de gymnastique on peut remarquer des changements majeurs dans l'attitude de l'athlète. L'athlète est en mesure d'avoir davantage conscience de son corps dans l'espace (positionnement des membres par rapport aux autres) en position statique et en position dynamique. On peut remarquer le même phénomène, mais à une échelle beaucoup moindre, chez les enfants du primaire. La question que je me poserais en terminant, en tant qu'entraîneur et éducateur physique, est sans doute de savoir si le choix de la cheville n'a pas eu un impact sur les résultats obtenus. Obtiendrions-nous les mêmes résultats avec une articulation moins sollicitée en gymnastique? La quantité d'expérience est aussi un facteur déterminant. Peut-être aurions-nous observé plus de différence avec des sujets de plus de 4 ans d'expertise?

L'utilisation de la gymnastique en milieu scolaire

Si la gymnastique artistique et acrobatique aide au développement du sens proprioceptif, il est donc important que les jeunes enfants pratiquent la gymnastique afin de développer une meilleure perception de leur corps dans l'espace. Cette qualité pourrait leur permettre de mieux corriger leurs actions et ainsi de développer davantage leurs compétences dans les activités sportives. La gymnastique artistique et acrobatique devrait donc, selon moi, faire partie d'un programme régulier du professeur d'éducation physique et à la santé au primaire afin de favoriser au maximum le développement de ses savoirs.

BIBLIOGRAPHIE

- Albert, F., Ribot-Ciscar, E., Fiacchi, M., Bergenheim, M., & Roll, J. P. 2005. **Proprioceptive feedback in humans expresses motor invariants during writing.** *Experimental Brain Research*, 164: 242-249.
- Albert, F., Bergenheim, M., Ribot-Ciscar, E., & Roll, J. P. 2006. **The Ia afferent feedback of a given movement evokes the illusion of the same movement when returned to the subject via muscle tendon vibration.** *Experimental Brain Research*, 162(2): 163-174.
- Barnett, M.L., Ross, D., Schmidt, R.A., Todd, B. 1973. **Motor skills learning and the specificity of training principle.** *Research quarterly for Exercise & Sport*. 44(4) : 440-447
- Berthoz, A. . 1997. **Le sens du mouvement.** O. Jacob (Ed.) Paris.
- Bilodeau, E. A. & Bilodeau, I. M. 1958. **Variable frequency of knowledge of results and learning of a simple skill.** *Journal of Experimental Psychology*, 55(4): 379-383.
- Cadopi, M., Chatillon, J.F., Baldy, R. 1995. **Representation and performance: reproduction of form and quality of movement in dance by eight- and 11-year-old novices.** *British Journal of Psychology*. 96 : 217-225.
- Capaday, C. & Cooke, J.D. 1981. **The effects of Muscle Vibration on the Attainment of Intended Final Position During Voluntary Human Arm Movements.** *Experimental Brain Research*, 42: 228-230.
- Cisek, P. Grossberg, S. & Bullock, D. 1998. **A Cortico-Spinal Model of Reaching and Proprioception under Multiple Task Constraints.** *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10(4): 425-444.
- Danion, F., Boyadjian, A., & Marin, L. 2000. **Control of locomotion in expert gymnasts in the absence of vision.** *Journal of Sports Sciences*, 18: 809-814.
- Farrer, C., Franck, N., Paillard, J., Jeannerod, M. 2003. **The role of proprioception in action recognition.** *Consciousness and Cognition*. 12 (4) : 609-619.
- Fredenburg, K. B., Lee, A. M., & Solmon, M. 2001. **The Effects of Augmented Feedback on Students' Perceptions and Performance .** *Research Quarterly for Exercises and Sports*, 72(3): 232-242.

- Goble, D. J., Lewis, C. A., Hurvitz, E. A., & Brown, S. H. 2005. **Development of upper limb proprioceptive accuracy in children and adolescents.** *Human Movement Science*, 24: 155-170.
- Goodwin, G. M., McCloskey, I., & Matthews, P. B. C. 1972. **Proprioceptive Illusions Induced by Muscle Vibration: Contribution by Muscle Spindles to Perception?** *Science*, 175(March): 1382-1384.
- Hay, L. & Redon, C. 1997. **The control of goal-directed movements in children: Role of proprioceptive muscle afferents.** *Human Movement Science*, 16: 433-451.
- Hay, L., Bard, C., Ferrel, C., Olivier, I., & Fleury, M. 2005. **Role of proprioceptive information in movement programming and control in 5 to 11-year old children.** *Human Movement Science*, 24: 139-154.
- Inglis, J.T., Frank, J.S. & Inglis, B. 1989. **The effect of muscle vibration on human position sense during movements controlled by lengthening muscle contraction.** *Experimental Brain Research*. 84. 631-634.
- Jeannerod, M. 1994. **Mental imagery in the motor context.** *Neuropsychologia*. 33(11) : 1419-1432.
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. 2000. **Principles of neural science.** McGraw-Hill (Ed.) NewYork:
- Legendre, R. 1993. **Dictionnaire actuel de l'éducation; 2e édition.** Guérin (Éd.). 1500 pg.
- Magill, R. A. 1998. **Motor Learning; Concepts and applications.** McGraw-Hill (Ed.). Boston.
- Nougier, V., Bard, C., Fleury, M., Teasdale, N., Cole, J., Forget, R., Paillard, J., & Lamarre, Y. 1996. **Control of single-joint movements in deafferented patients: evidence for amplitude coding rather than position control.** *Experimental Brain Research*, 109: 473-482.
- Olex,-Zarychta, D., & Raczek, J. 2008. **The relationship of movement time to hand-foot laterality patterns.** *Psychology Press*. 13 (5). 439-455
- Proske, U. 2005. **Kinesthesia: The role of muscle receptors.** *Muscle Nerve*, 34(5): 545-558.

- Ribot-Ciscar, E., Rossi-Durant, C., & Roll, J. P. 1998. **Muscle spindle activity following muscle tendon vibration in man.** *Neuroscience Letters*, 258: 147-150.
- Rigal, R. 1995. **Motricité humaine: fondements et applications pédagogiques.** St-Foy: Presses de l'Université du Québec.
- Roll, J. P. & Vedel, J. P. 1982. **Kinaesthetic Role of Muscle Afferents in Man, Studied by Tendon Vibration and Microneurography.** *Experimental Brain Research*, 47: 177-190.
- Schmidt, R. A. & Lee, T. D. 1999. **Motor Control and Learning: A Behavioral Emphasis.** Champaign III: Human Kinetics.
- Sigmundsson, H., Whiting, H. T. A., & Loftesnes, J. M. 2000. **Development of proprioceptive sensitivity.** *Experimental Brain Research*, 135: 348-352.
- Silverman, S., Woods, A. M., & Subramaniam, P. R. 1998. **Task Structures, Feedback to Individual Students, and Student Skill Level in Physical Education.** *Research Quarterly for Exercices and Sports*, 69(4): 420-424.
- Thompson, C. Bélanger, M. & Fung, J. 2007. **Effects of bilateral Achilles tendon vibration on postural orientation and balance during standing.** *Clinical Neurophysiology*, 118(11) : 2456-67
- Verschueren, S. M. P., Swinnen, S. P., Desloovere, K., & Duysens, J. 2002. **Effects of tendon vibration on spatiotemporal characteristics of human locomotion.** *Experimental Brain Research*, 143: 231-239.
- Vuillerme, N., Danion, F., Marin, L., Boyadjian, A., Prieur, J. M., Weise, I., & Nougier, V. 2001. **The effect of expertise in gymnastics on postural control.** *Neuroscience Letters* , 303: 83-86.
- Vuillerme, N., Teasdale, N., Nougier, V. 2001. **The effect of expertise in gymnastics on proprioceptive sensory integration in human subjects.** *Neurosciences letters*. 311(2) : 73-76.
- Weeks, D.L., Kordus, R.N. 1998. **Relative frequency of knowledge of performance and motor skill learning.** *Research Quaterly for Exercice and Sport*. 69(3) : 224-230.

ANNEXES

ANNEXE 1*Les effets proprioceptifs de la pratique de la gymnastique artistique et acrobatique*

Chambly, le 21 février 2006

À qui de droit,

Bonjour,

Nous réalisons un projet universitaire de maîtrise sur la gymnastique artistique et acrobatique. Dans notre phase de recrutement de sujets, nous écrivons aux divers clubs de la région montréalaise afin de solliciter la participation de gymnastes au projet. Vous trouverez donc ci-joint plusieurs copies d'une feuille explicative pour vos athlètes de niveau **P2 NOVICE**. Nous vous serions gré de bien vouloir leur distribuer la feuille en question et de leur demander de retourner les coupons réponses le plus rapidement possible dans l'enveloppe pré affranchie. Il est important de leur mentionner que ceci ne les engage absolument à rien, il s'agit juste de pouvoir planifier une rencontre explicative plus approfondie du projet.

Le projet n'implique qu'une courte période de 40 minutes à une heure avec la gymnaste afin de lui faire passer deux tests de flexion de la cheville. Les tests peuvent être réalisés directement dans le club de la gymnaste si les responsables du club n'y voient aucun inconvénient.

Veuillez agréer mes salutations les plus distinguées,

Mike Jordan, B.Sc.

Éducateur physique et à la santé,

Entraîneur de gymnastique (PNCE Niv.2)

P.S. Pour toutes questions, vous pouvez vous adresser à madame Geneviève Cadoret au 514-987-3000 poste 2244, ou par courriel à jordan.mike@uqam.ca

ANNEXE 2

Chambly, le 21 février 2006

Chers parents et gymnastes,

Mon nom est Mike Jordan et je suis étudiant à la maîtrise à l'Université du Québec à Montréal. En plus, d'être entraîneur de gymnastique artistique et acrobatique certifié niveau trois du PNCE, j'enseigne l'éducation physique et à la santé au niveau primaire. Tout comme des centaines de gymnastes au Québec, je suis passionné par la gymnastique et j'ai donc décidé de promouvoir la pratique des activités gymniques artistiques et acrobatiques par le biais de mon projet de maîtrise. A cette fin, je suis à la recherche de sujets afin de me permettre de poursuivre mes objectifs. Je suis donc en période de recrutement dans les divers clubs de gymnastique du Québec dans le but de trouver des gymnastes de niveau compétitif (âgés de 13 ou 14 ans) afin de passer deux tests très simples et sans préjudices pour les sujets et d'une durée totale d'environ une heure (au cours d'une seule séance). Vous trouverez ci-dessous les grandes lignes du projet.

Description du projet

En éducation physique et à la santé, la proprioception, ou la capacité de sentir les différentes parties de son corps dans l'espace occupe une place prépondérante dans l'action. En effet, elle permet de choisir les actions appropriées, d'exécuter ces actions et d'en évaluer l'impact. Dans cette étude, nous voulons examiner si l'utilisation de la gymnastique artistique et acrobatique améliore le traitement de l'information proprioceptive avec l'expertise.

La démarche consiste à perturber le traitement de l'information proprioceptive en appliquant une vibration sur le tendon de la cheville lors de l'exécution d'un mouvement simple (flexion, extension de la cheville). Ceci dans le but d'enregistrer une adaptation plus ou moins grande en fonction du niveau d'expertise en gymnastique. Un petit cadeau est prévu pour les jeunes qui participeront au projet de recherche.

Si vous êtes intéressés à participer à la recherche, veuillez remplir le coupon ci-dessous et nous le retourner le plus rapidement possible à votre club (il est à noter que ce coupon ne vous engage à rien et servira uniquement à planifier une rencontre d'information de groupe ou individuelle pour les personnes intéressées).

Mike Jordan, B.Sc.

Éducateur physique et à la santé,

Entraîneur de gymnastique (PNCE Niv.2)

P.S. Pour toutes questions, vous pouvez vous adresser à madame Geneviève Cadoret au 514-987-3000 poste 2244, ou par courriel à jordan.mike@uqam.ca

Nom de la gymnaste : _____

Tél : _____

Nous sommes **intéressés** à participer à l'étude : OUI NON

Journée et heure où une rencontre pourrait-être planifiée (max 20 minutes) : _____

ANNEXE 3

Questionnaire au sujet (gymnastes):

Sujet : _____ Groupe : _____

1. Quelle est ta date de naissance?

_____	/	_____	/	_____
Jour		Mois		Année

2. Depuis combien de temps t'entraînes-tu au niveau compétitif?

☐ 1-2 années☐ 3-4 années☐ 5-6 années☐ 7+ années

3. Combien d'heures t'entraînes-tu en moyenne par semaine?

☐ Moins de 10 heures☐ 10 heures☐ 11-12 heures☐ 13-14 heures☐ 15 heures☐ Plus de 15 heures (précisez : _____)

4. As-tu des blessures antérieures aux membres inférieurs diagnostiquées par un spécialiste (médecin ou physiothérapeutes) au cours des six derniers mois?

☐ Oui, précisez : _____☐ Non

5. Pratiques-tu d'autres activités sportives?

☐ Oui☐ 1 heure☐ 2 heures☐ 3 heures et plus☐ Non

6. Fais-tu partie d'un programme Sport-Études?

☐ Oui☐ Non

ANNEXE 4

Questionnaire au sujet :

Sujet : _____ Groupe : _____

1. Quelle est ta date de naissance?

_____/_____/_____

Jour Mois Année

2. As-tu des blessures antérieures aux membres inférieurs diagnostiquées par un spécialiste (médecin ou physiothérapeutes) au cours des six derniers mois?

☐ Oui, précisez : _____☐ Non

3. Pratiques-tu une activité sportive de façon régulière?

☐ Oui, laquelle : _____☐ 1 heure☐ 2 heures☐ 3 heures et plus (par semaine)☐ Non

ANNEXE 5

Procédure d'expérimentation

1. Informer le sujet sur le déroulement de l'expérimentation
 - a. Deux temps (phase assise et en marche)
 - b. Avec et sans vibration
2. Installer les marqueurs et expliquer leurs fonctions
3. Installer le potentiomètre et expliquer sa fonction
4. Installer le vibreur et en expliquer les effets ressentis (faire vivre la vibration aux sujets)
5. Installer le sujet en position assise et lui expliquer la procédure pour la phase un
 - a. Laisser son pied en position neutre
 - b. Au signal de l'expérimentateur faire une flexion plantaire maximale et la maintenir jusqu'au signal de l'expérimentateur (prendre en note la mesure après 3 secondes de maintien)
 - c. Refaire la même procédure pour une flexion dorsale maximale
 - d. Calculer les valeurs aux pourcentages désirés (-50, +30 et +60 %)
6. Regarde la lumière (bleu) et fléchis ta cheville vers le bas (-) (ou vers le haut (+), voir grille ci-dessous pour expérimentateur) jusqu'à ce que la lumière s'éteigne, tu dois tenir la même position jusqu'à ce qu'elle s'allume et relâcher le pied. De plus, tu dois fléchir lentement et de façon continue (sans à coup).

Pourcentage (%)	Degrés
-50	
+30	
+60	
+30	
+60	
-50	
+60	
-50	
+30	

7. Entre chaque essai, au signal de l'expérimentateur, tu dois reproduire la même flexion, le plus précisément possible. Quand tu penses avoir atteint la position, allume ta lumière (rouge) et tiens la position jusqu'à ce que la lumière bleue s'allume, ensuite relâche la position et relaxe.
8. Faire un ou deux essais à une mesure fictive
9. Informer le sujet du début de l'expérimentation. Filmer et prendre les données
10. Nous allons reproduire la même chose avec une vibration (recommencer à 8)
11. Faire une pause de 5 minutes
12. Demander au sujet de marcher du point A au point B le plus naturellement possible

ANNEXE 6



UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Comité départemental de déontologie

Conformité à l'éthique en matière de recherche impliquant la participation de sujets humains

Le comité de déontologie du Département de kinanthropologie, mandaté à cette fin par l'Université du Québec à Montréal, a examiné le protocole de recherche suivant:

Responsable: Mike Jordan (sous la direction de Madame Geneviève Cadoret)

Département: Kinanthropologie

Titre: Les effets proprioceptifs de la pratique de la gymnastique artistique et acrobatique chez l'enfant.

Ce protocole de recherche est jugé conforme aux pratiques habituelles et répond entièrement aux normes établies par la Politique institutionnelle de déontologie de l'UQAM ainsi qu'à celles de l'organisme de financement à qui la demande sera soumise.

Le projet est jugé recevable sur le plan déontologique.

Membres du comité

NOM	POSTE OCCUPÉ	DÉPARTEMENT
Marc Bélanger	Professeur	Kinanthropologie
Jean-Paul Guillemot	Professeur	Kinanthropologie
Paul Hénault	Professeur	Kinanthropologie

19 février 2007

Date

Présidence du comité départemental (Marc Bélanger)